

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektroenergetiky

Vícekriteriální úlohy v elektroenergetice
Electric power engineering multicriterion tasks

Zadání bakalářské práce

Student: **Alan Lipowski**
Studijní program: **B2649 Elektrotechnika**
Studijní obor: **3907R001 Elektroenergetika**
Téma: **Vícekriteriální úlohy v elektroenergetice.
Electric Power Engineering Multicriterion Tasks.**
Jazyk vypracování: **čeština**

Zásady pro vypracování:

1. Multikriteriální vyhodnocovací metody - teorie.
2. Typy rozhodovacích úloh.
3. Srovnání jednotlivých metod MCA.
4. Vhodnost metod pro různé typy úloh.
5. Softwarová podpora MCA.
6. Příklad aplikace metod MCA.

Seznam doporučené odborné literatury:


- [1] Fiala, P.: Modely a metody rozhodování, VŠE v Praze, Praha, 2003
- [2] Jablonský, J., Maňas, M., Fiala, P.: Vícekriteriální rozhodování, VŠE v Praze, Praha, 1994
- [3] Gurecký, J.: Optimalizace řízení sítí vní dálkově ovládanými úsečníky, Disertační práce, Ostrava, 1998
- [4] Krejčí, P.: Řešení spolehlivosti dodávky elektrické energie v oblasti s dálkově ovládanými prvky v sítích vysokého napětí, Disertační práce, Ostrava, 2001
- [5] Korviny, P.: Aplikace multikriteriální analýzy při nasazování dálkově řízených prvků v distribučních sítích vysokého napětí, Disertační práce, Ostrava, 2003

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

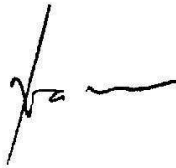
Vedoucí bakalářské práce: **doc. Dr. Ing. Jiří Gurecký**

Datum zadání: 01.09.2016

Datum odevzdání: 30.04.2018



prof. Ing. Stanislav Rusek, CSc.
vedoucí katedry



prof. Ing. Pavel Brandštetter, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení

„Prohlašuji, že jsem celou práci, včetně všech příloh, vypracoval samostatně.“

V Ostravě dne 30.4.2018

podpis:

Poděkování

Rád bych poděkoval svému vedoucímu bakalářské práce panu doc. Dr. Ing. Jiřímu Gureckému za odborný dohled, znalosti z praxe a vedení.

Abstrakt

Tato bakalářská práce je zaměřena na řešení multikriteriálních úloh v energetice. Definuji zde základní prvky multikriteriální analýzy a její celkový postup. Představuji typy vybraných úloh a jejich specifikaci dle typu informace. Uvádím srovnání jednotlivých metod multikriteriální analýzy. Dále zmiňuji vhodnost metod pro různé typy úloh. Teoretická část je zakončena možnostmi softwarové podpory multikriteriální analýzy programem MCA7. Cílem praktické části je vybrat nejlepší možnost daného problému.

Klíčová slova

Multikriteriální analýza, kritérium, varianta, váha, metoda, vytápění

Abstract

This bachelor thesis is focused on solving multi-criteria problems in energetics. It defines basic elements of the multi-criteria analysis and its overall way. It presents types of selected tasks and their specification according to type of information. It presents a comparison of the various methods of multi-criteria analysis. It mentions the suitability of methods for different types of tasks. The theoretical part is finished with the possibilities of software support of multi-criteria analysis by MCA7. The aim of the practical part is to select the best option for the presented problem.

Key words

Multicriterion tasks, critery , variation, value, method, heating

Obsah

Prohlášení.....	3
Poděkování.....	3
Rád bych poděkoval svému vedoucímu bakalářské práce panu	3
Úvod.....	7
1 Multikriteriální vyhodnocovací metody – teorie.....	8
1.1 Základní prvky.....	8
1.2 Rozhodovací model	9
1.3 Členění procesů dle informace	9
1.4 Vícekriteriální analýzy variant	10
1.5 Postup hodnocení variant.....	10
1.6 Základní pojmy vícekriteriálního rozhodování.....	12
1.7 Pojmy obecného postupu.....	13
1.7.1 Hodnocení dosažených výsledků variant	13
1.7.2 Posouzení rizik	14
1.7.3 Výběr nejvhodnější varianty	14
1.7.4 Vzájemná závislost a podmíněnost kritérií	14
1.8 Řešení vícekriteriálních rozhodovacích modelů.....	15
2 Typy rozhodovacích úloh.....	16
2.1 Specifikace podle typu informace	16
2.2 Cíle řešení úlohy	16
3 Srovnání jednotlivých metod MCA	17
3.1 Metody pro stanovení vah kritérií.....	17
3.1.1. Metoda kompenzační	17
3.1.2 Metoda postupného rozvržení vah	17
3.1.3 Metoda Fullerova	18
3.1.4 Metoda Saatyho.....	19
3.1.5 Metoda pořadí	20
3.1.6 Metoda bodovací.....	20
3.1.7 Metoda geometrického průměrů řádků	20
3.1.8. Konečné váhy.....	21
3.2 Metody vícekriteriální analýzy variant.....	21
3.2.1. Metoda konjunktivní	22
3.2.2. Metoda disjunktivní.....	22
3.2.3 Metoda PRIAM	22
3.2.4 Metoda ORESTE.....	23
3.2.5 Metoda shody a neshody (CDA)	24
3.2.6 Metoda IPA	25

3.2.7 Metoda TOPSIS	25
3.2.8 Metoda váženého součtu (WSA).....	26
4 Vhodnost metod dle typu informace pro různé typy úloh.....	28
5 Softwarová podpora MCA.....	29
6 Příklad aplikace MCA.....	30
6.1 Vybrané varianty hodnocení.....	30
6.2 Kritéria hodnocení	33
6.3 Stanovení vah kritérií.....	35
6.3.1 Metoda bodovací	36
6.3.2 Metoda pořadí	36
6.3.3 Metoda Fullerova	36
6.3.4 Metoda Saatyho	37
6.3.5 Metoda kompenzační	38
6.3.6 Metoda postupného rozvržení vah	39
6.3.7 Metoda geometrického průměru řádků	40
6.3.8 Konečné váhy	40
6.4 Metody vícekritériálního vyhodnocení variant.....	41
6.4.1 Metoda konjunktivní	41
6.4.2 Metoda disjunktivní.....	41
6.4.3 Metoda PRIAM	42
6.4.4 Metoda ORESTE.....	42
6.4.5 Metoda shody a neshody (CDA)	44
6.4.6 Metoda IPA	44
6.4.7 Metoda TOPSIS	44
6.4.8 Metoda váženého součtu (WSA).....	45
6.5 Vyhodnocení a konečné doporučení.....	46
7 Závěr	48
Seznam použitých symbolů a zkratk	49
Seznam obrázků	49
Seznam tabulek	49
Seznam Literatury	50

Úvod

Rozhodování patří mezi nejdůležitější vlastnosti podle, kterých se bude odvíjet další prospěch či neprospěch objektu, přičemž špatným rozhodnutím riskujeme výrazné ohrožení. Rozhodování je soubor procesů, které vnímáme jako soubory řešené rozhodovací problémy s vícero variantami řešení. Člověk, který nikdy neslyšel o multikriteriálním rozhodování se většinou rozhoduje intuitivně. Tento způsob rozhodování je vhodný pro rozhodnutí, která nemají vliv na život člověka či ta, která nezastupují větší obnos peněz. V multikriteriálním rozhodování jednotlivé procesy charakterizujeme dle struktury či základních prvků, jako jsou například cíle, kritéria rozhodování, subjekt, objekt a varianty rozhodování s jejich důsledky a riziky.

Multikriteriálnost těchto úloh spočívá v tom, že důsledky rozhodnutí posuzujeme dle souboru kritérií. Modelem multikriteriální analýzy řešíme problém s určitým cílem a to že hledáme nejlepší či nejvýhodnější varianty. K řešení těchto rozhodovacích problémů využíváme různé multikriteriální postupy a metody.

Cílem této bakalářské práce bude použití vybraných metod multikriteriálního rozhodování v elektroenergetice. V tomto případě se bude jednat o rozhodování pro výběr nejlepší možnosti vytápění a ohřevu teplé vody s daného souboru variant.

Předložená práce bude rozdělena do sedmi kapitol včetně závěru. První kapitola se bude věnovat teoretické části a základním pojmům jako jsou rozhodovací model, rozhodovací prvky či pojmy obecného postupu. V druhé kapitole bude posouzení rozdělování dle typu informace rozhodovacích úloh. Třetí část bude charakterizována souborem postupů při stanovení vah kritérií vybranými metodami, jako jsou například metoda bodovací, metoda pořadí, Fullerova metoda, Saatyho metoda, metoda kompenzační či metoda postupného rozvrhu vah. Druhou polovinu této kapitoly bude tvořit popis metod multikriteriální analýzy variant, kde jsme ze škály metod vybrali metodu konjunktivní, metodu disjunktivní, metodu váženého součtu, metodu PRIAM, metodu ORESTE, metodu IPA, metodu TOPSIS a metodu shody a neshody. Čtvrtou částí bude malé přiblížení vhodnosti jednotlivých metod pro různé typy úloh. V páté části se budu zabývat zlehčením výpočtu pomocí softwarové podpory, díky níž jsme schopni jednotlivé varianty počítat efektivněji a rychleji. Šestá kapitola bude mít prostor pro praktický příklad, který bude zaměřen na výběr nejlepší soustavy pro vytápění a ohřev teplé vody v daném objektu. Poslední sedmou kapitolu budu věnovat závěru, kde vyhodnotím výsledky praktického příkladu a shrnu tuto bakalářskou práci.

1 Multikriteriální vyhodnocovací metody – teorie

První kapitola je zaměřena na základní pojmy týkající se vícekriteriálních úloh řešení.

1.1 Základní prvky

Pro správnost řešení rozhodovacích problému si musíme nejprve ujasnit a definovat základní prvky:

- cíl procesu,
- kritéria hodnocení,
- subjekt a objekt rozhodování,
- faktory rizika,

Cíl rozhodování je stav, kterého jsme chtěli dosáhnout určitým řešením, při němž jsme se museli rozhodnout v rozhodovacím procesu. Nejdůležitější je si tyto cíle nejprve stanovit, buď číselně, nebo slovním popisem a daným způsobem se k nim propracovat. Cíle si můžeme vytyčit z jakéhokoli hlediska, například ekonomického, či z hlediska kvality a podobně. Ne vždy nám z řešení vyplyne jen jeden cíl. Můžeme se propracovat ke dvěma, či více cílům naráz a mezi těmito cíly vznikají dvě vazby. Vazba *komplementární*, při které se cíle nijak neohrožují, ale právě naopak se podporují a doplňují. Druhou vazbou je vazba *konfliktní*, tato vazba je opakem vazby *komplementární*, to znamená, že je dosaženo pouze jednoho cíle na úkor cíle předešlého.

Kritéria hodnocení si nastavuje rozhodovatel. Určujeme je odvozením od stanoveného cíle řešení a tím nám vznikají různé vztahy, dosažení vytyčených hodnot veličin, minimalizace nebo maximalizace. Pokud chceme řešit problém, musíme si nadefinovat jedno nebo více kritérií. Každé kritérium se bude charakteristicky lišit. Kritéria můžeme vyjadřovat číslem, takzvaná kritéria *kvantitativní*, tato kritéria mají jednoznačný smysl, snadnou měřitelnost a s jejich pomocí můžeme sdělovat jasnou náplň. Opakem kritérií *kvantitativních* jsou kritéria *kvalitativní*, které ještě dělíme na *výnosový* nebo *nákladový* typ, vyznačují se velkou obsahovou náplní.

Subjekt rozhodování je označení rozhodovatele, který má právo problém řešit a poté jej dále realizovat. Subjekt může být *individuální* a to v případě že za rozhodnutím stojí pouze jedna odpovědná osoba nebo *kolektivní*, kdy za rozhodnutím stojí skupina rozhodovatelů. Rozhodovatele dělíme na skutečného, který doopravdy rozhoduje a statutárního, který má pouze pravomoci (rozhodovat, realizovat).

Ovšem *objekt rozhodování* je problém ve kterém se pokoušíme dosáhnout našeho cíle pomocí hledaného rozhodovacího řešení. Toto řešení můžeme, dosáhnou určitou variantou nebo alternativním řešením. Variant stanovujeme několik, každou variantou způsobíme důsledek na daný objekt, či na okolí v němž se objekt nachází. Důsledek kritérií kvantitativních kvantifikujeme, důsledek kvalitativních kritérií musíme popsat.

Faktory rizika neboli faktory světa, jsou vylučující se situace, které zaznamenáme až po realizaci našeho rozhodnutí. Tyto situace mají vliv na důsledky variant ve vztahu k rozhodovacím

kriteriím. Náhodné faktory můžeme taktéž řadit mezi faktory nejistot. Kombinace těchto stavů můžeme vidět pokud těchto faktorů spatříme několik naráz. [4]

1.2 Rozhodovací model

Skládáme jej z prvků rozhodovacího procesu. Prvky rozhodovacího procesu jsou varianty, neboli alternativy rozhodnutí pomocí, kterých realizujeme rozhodovací model. Danou variantou, kterou použijeme, dosáhneme výsledku vyjádřeného nejčastěji v peněžní formě. Za každé rozhodnutí se nám dostává tzv. výplata, to co nám daná varianta přinese podle skutečného počtu použitých variant řešení.

Prvky rozhodovacího modelu formulujeme formou matice, kterou lze převést do tabulky o rozměru: $S \times \check{R}$ (sloupec \times řádek) kde sloupce znamenají varianty a řádky zase stavy okolností, prvky této tabulky v_{xy} . Tab. 1 je příkladem rozhodovací tabulky.[1]

Tab. 1 Rozhodovací tabulka

	Stav ₁	Stav ₂	...	Stav _n
Varianta ₁	v_{11}	v_{12}	...	v_{1y}
Varianta ₂	v_{21}	v_{22}	...	v_{2y}
...
Varianta _n	v_{x1}	v_{x2}	...	v_{xy}

Zdroj: Šubrt et al. (2011), str. 119

1.3 Členění procesů dle informace

Největší důležitost musíme věnovat správnosti dané informace, protože právě tyto informace interpretujeme ze vstupních na výstupní. Rozhodovatel rozhoduje o efektivnosti sběru, rozsahu a výkladu získaných informací. Tyto informace v závislosti s důsledky variant a faktory rizika musíme rozdělit do různých vztahů, které jsou závislé na hodnotících kritériích.

Definujme si skupiny, kde můžeme rozhodovací procesy podle informací o faktorech rizik a dopadech variant zařadit:

- rozhodování za nejistoty,
- rozhodování za jistoty,
- rozhodování za rizika.

Rozhodování za nejistoty je případ neznalostí rizikových faktorů při rozhodovacím procesu, které se mohou vyskytnout. Proto nemůžeme říci, jaké budou důsledky variant a jejich následné dopady. Tímto nám vznikají nepřesné odchylky, které můžeme vyhodnotit jako žádoucí nebo nežádoucí. Nežádoucí odchylky vnímáme jako riziko.

Rozhodování za jistoty znamená, že jsme schopni pracovat s úplnými informacemi. Toho jsme schopni dosáhnout v případech, kdy jsme obeznámeni, jaké mohou nastat faktory rizika při dané situaci řešeného problému a jaké jsou důsledky jednotlivých variant. S *rozhodováním za jistoty* se setkáme velice zřídka.

Rozhodování za rizika jsou budoucí situace, které mohou nastat za předpokladu, že právě tyto situace zahrneme do našeho řešení problému, přičemž známe i jejich pravděpodobnosti kdy mohou nastat. Nižší věrohodnost informací nás vede právě k tomuto postupu, kde jsme schopni využít data z předchozích období.[4]

1.4 Vícekriteriální analýzy variant

Pomocí tohoto modelu se pokoušíme vybrat jednu, nebo více variant z velké škály variant, kterou poté můžeme doporučit k vyřešení problému. Podobně jako u rozhodovacího modelu zde stanovujeme matici nebo tabulku o množině m variant a tutéž množinu hodnotíme pomocí n kritérií. Cílem této analýzy je najít takovou variantu, kterou můžeme na konci procesu vyhodnotit za optimální nebo kompromisní. Varianty, které budou neefektivní a nebudou nám vyhovovat, můžeme řadit či vyřazovat.

Vyřešené úlohy metodou vícekriteriálního neboli multikriteriálního rozhodování mají charakteristické rysy:

- Smíšený soubor kritérií.
- Vícekriteriální charakter řešeného problému,
- Neaditivnost kritérií,

Smíšený soubor kritérií je skutečnost, kde bereme v úvahu kritéria kvalitativní nebo kvantitativní povahy. Kvantitativní charakteristiku zastupuje číslo. Povahy kvalitativní nejsme schopni definovat měrnými hodnotami, proto je vyjadřujeme například slovním popisem.

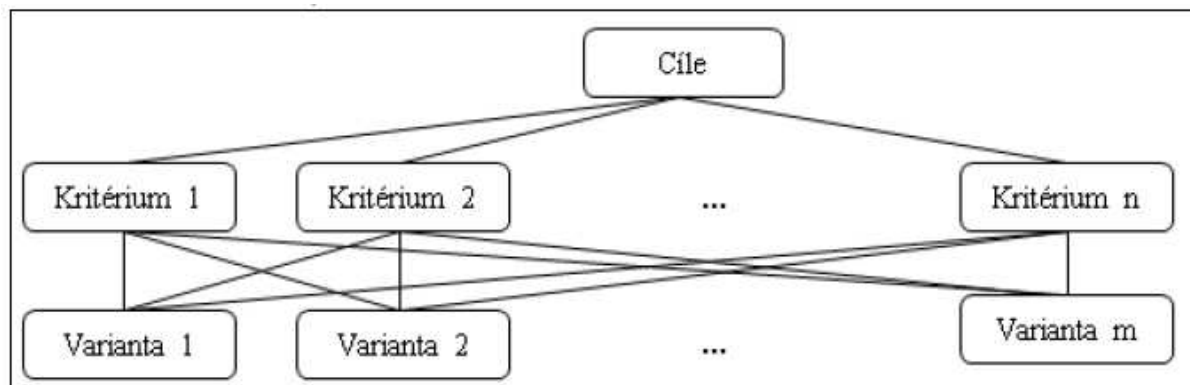
Hlavní charakteristikou máme na mysli vyšší počet kritérií hodnocení, ovšem s nárůstem kritérií či variant roste obtížnost hodnotit úlohy. Úlohy rozdělujeme do dvou skupin multikriteriální a monokriteriální. Obě tyto skupiny jsou opakem, s multikriteriální skupinou se setkáme ve většině případů a to tehdy, když řešíme problém z vícero hledisek a naopak monokriteriální skupina, s kterou se téměř nesetkáme protože dané úlohy řešíme pouze z jediného pohledu.

Stěžením modelu vícekriteriální analýzy nacházíme ve způsobu vyjadřování jednotlivých kritérií. Kritéria, kterými posuzujeme jednotlivé varianty daných úloh, nejsme schopni definovat stejnými měrnými jednotkami. Jejich povaha se neshoduje, proto jsou tato *kritéria neaditivní*. [1],[2]

1.5 Postup hodnocení variant

Cílem hodnocení je najít takovou variantu, která bude nejvýhodnější nebo uspořádat varianty z pohledu preference. V daném procesu hodnocení se snažíme, aby se varianta blížila jednotlivým kritériím, zobrazeno na obrázku 1.

Obr. 1 Pohled na vztah cíle, variant a kritérií hodnocení



Zdroj: Fotr et al. (2010), str. 167

Je možné i vhodné, abychom disponovali více variantami, tento soubor přístupných variant je třeba protřídit posouzením a to buď podle jejich výhodnosti, či dominancí.

Pro správný postup musíme provést standardizaci matice, vymezení a výběr metod vícekritériálního hodnocení variant, proto je nutné znát:

- o čem rozhodujeme,
- jaké cíle budou splněny (jaké cíle za jakých podmínek),
- z jakého pohledu rozhodujeme,
- stanovení časového horizontu, pro které bude rozhodnutí působit.

Obecný postup vícekritériálního hodnocení variant požaduje splnění šesti jednotlivě, rozlišných kroků.[8]

1. Vytvoření soustavy kritérií,
2. Stanovení vah kritérií,
3. Stanovení vzorových kritérií,
4. Dílčí hodnocení variant,
5. Posouzení rizik,
6. Výběr nejvhodnější varianty (Seřazení variant).

Tento postup předpokládá, že jsou k dispozici minimálně dvě varianty možných řešení. Pokud není tento předpoklad splněn, nejde o multivariantní hodnocení ale o případ jedno variantního vícekritériálního hodnocení, jehož cílem je vyvození závěru k dané variantě. Za těchto okolností přebírá funkci varianta základní (etalonová), s kterou je posuzovaná varianta porovnává. Podrobný rozbor jednotlivých kroků při hodnocení variant lze najít v elektronických materiálech [9].

1.6 Základní pojmy vícekritériálního rozhodování

Základní pojmy jsou nedílnou součástí problematiky vícekritériálního rozhodování, a proto je v této kapitole rozeberu. Tabulka číslo 2 poslouží jako příklad pojmů.

Tab. 2 Příklad

	K_1	K_2	K_3
A	y_{a1}	y_{a2}	y_{a3}
B	y_{b1}	y_{b2}	y_{b3}
C	y_{c1}	y_{c2}	y_{c3}

- varianta,
- kritérium hodnocení,
- kritériální matice,
- preference kritéria,
- aspirační úroveň,
- pořadí kritéria
- váha kritéria,
- ideální a bazální varianta,
- informace.

Varianty neboli alternativy jsou rozhodovací možnosti, které řadíme do množiny přípustných variant. Každá varianta musí být realizovatelná a logicky odvoditelná. Varianty v tabulce 2 jsou označeny A, B, C.

Kritérium hodnocení (dále jen *Kritéria*) slouží jako hlediska, kterými hodnotíme varianty. Jak jsem již zmínil výše, mohou mít povahu kvalitativní nebo kvantitativní. Dále se dělí na maximalizační, to jsou ty kritéria, které ukazují na variantu s nejvyšší hodnotou. Kritéria minimalizační, jsou ty, při kterých nejlepší varianta má nejnižší hodnotu. Kritéria označujeme K_j (kde pro $j = 1, 2, 3, \dots, n$)

Kritériální matice je seskupení variant a kritérií. Tato matice se označuje $Y=(y_{ij})$ a je tvořena hodnotami i -té varianty podle j -tého kritéria.

Preference kritéria ukazuje jak moc je pro nás kritérium důležité vzhledem, ke kritériu jinému. Preference vyjadřujeme pomocí aspirační úrovně, pořadí kritérií, váhy kritérií a kompenzace kritériálních hodnot.

Aspirační úroveň je hodnota kritéria, které má být dosaženo. U minimalizačního kritéria, jaké nejvyšší hodnoty má být dosaženo, a naopak u kritéria maximalizačního, jaké nejnižší hodnoty má být připuštěno.

Pořadí kritéria (ordinální informace), srovnává kritéria do posloupnosti od nejdůležitějšího po nejméně důležité.

Váhy kritérií se stanovují několika metodami. Vyjadřují se číselně a to v intervalu $\langle 0,1 \rangle$, při sečtení jednotlivých vah daného kritéria dosáhneme vždy hodnoty 1. Důležitost kritéria roste se zvětšující se vahou kritéria a naopak. Váhy kritérií určují relativní důležitost či vzájemnou významnost kritéria ve vztahu k ostatním.

Ideální varianta znamená hypotetickou variantu, kterou vyniká nejlepší hodnota ve všech kritériích, naopak *Bazální varianta*, kdy její ohodnocení je nejhorší podle všech kritérií. Pokud by tyto dvě varianty reálně existovaly, posuzovatel by nemusel hledat kompromisní řešení mezi ostatními variantami, protože by se rozhodnul pro variantu nejlepší nebo by nejhorší variantu rovnou vyřadil, tudíž by byla dominována.[1],[2]

Důležitou roli v rozhodování hrají *informace* které je uživatel schopný získat a přiřadit jim důvěryhodnost. Při různých typech úloh dochází k rozlišným specifikacím informací, které dělíme do skupin:

Úlohy bez informace, základ i praxe vícekritériálního rozhodování, kde se pracuje s pojmem nedominovatelnost.

Úlohy s informací umožňující skalarizaci optimalizačního kritéria, jedná se o úlohu jednokritériální. Pro tyto úlohy je obecným rysem formulace jako vícekritériální a navíc disponují informací umožňující shrnutí více kritérií do jednoho kritéria. Redukce na skalár musí být provedena kvalifikovaně, aby nedošlo ke zkreslení nebo ztrátě informace, proto využíváme teorie vícekritériálního rozhodování.

Úlohy s informací získávanou v průběhu řešení, analytik ani uživatel většinou nejsou schopni rozpoznat zavádějící informace, které jsou zbytečností v dané úloze. Proto byly vyvinuty postupy, které získávají informace od uživatele v průběhu řešení, například pomocí dialogových oken v programu.

Parametrická řešení, dává přednost širšímu náhledu do problému před jednoznačným doporučením.[9]

1.7 Pojmy obecného postupu

Než se začneme zabývat popisem konkrétních metod a analýz stanovíme pojmy obecného postupu vícekritériálního hodnocení variant, hodnocení dosažených výsledků variant, posouzení rizik, výběr nejvhodnější varianty a vzájemnou závislost a podmíněnost kritérií.

Vytvoření soustavy kritérií hodnocení a stanovení vah kritérií bude detailněji rozebráno v třetí kapitole srovnání jednotlivých metod MCA .

1.7.1 Hodnocení dosažených výsledků variant

Způsob hodnocení variant, určitým způsobem nám vždy posuzovaná varianta odpovídá předem požadovanému cíli. Jak moc se blíží těmto cílům, je požadavek na hodnocení dosažených výsledků variant. Způsobů a metod k těmto hodnocením je celá řada, přičemž jejich užití závisí na druhu, zdrojích, úplnosti a míře dostupných informací. V praxi je potřeba co nejdříve a nejrychleji

rozhodnou o variantách zásadního významu, přičemž dostupnost, množství a kvalita neodpovídá jejich reálné potřebě.

V těchto případech používáme metody založené na kvalitních expertních odhadech, například přímá metoda bodovací nebo nepřímé metody srovnání variant.

Pokud jsou k dispozici potřebné informace v podrobnější struktuře nebo je lze získat, či v přijatelné době vytvořit, můžeme použít náročnější metody hodnocení dosažených výsledků variant, jako např. metoda bazické varianty nebo metoda vícerozměrného užitku založená na konstrukci (dílních funkcí užitku).[9]

Vlastní postup při hodnocení výsledků variant využívá dvou kroků:

1. dílní (jednokriteriální) hodnocení variant
2. syntézu dílních hodnocení variant v jejich celkové (vícekriteriální) vyhodnocení

1.7.2 Posouzení rizik

Rizik při implementaci variant může být hned několik. Kterékoliv riziko může nabýt značného významu a tím tak ovlivnit výsledek hodnocení. Několik možností kde tento problém nastává:

- správná formulace problému
- úplnost a vyjádření podstatných vlastností
- identifikace variant řešení
- způsob hodnocení variant, který zahrnuje soubor rizik
- náhoda okolností, které mohou nastat při realizaci vybrané varianty

Za účasti týmu expertů při hodnocení variant je třeba zahrnout riziko vyplývající z kvality expertního posouzení. Tento odhad se liší, pokud jej provádí jeden expert či skupina expertů, přičemž závisí na jejich zkušenostech a znalostech.[9]

1.7.3 Výběr nejvhodnější varianty

Při doporučení nejvhodnější varianty k rozhodnutí o její implementaci se většinou považuje za samostatný krok. Jestliže zvolená varianta nekoresponduje s postupem vícekriteriálního rozhodování, dochází k zásahu, který je oprávněný ale představuje jisté porušení pravidel.

Tyto úvahy představují revizi některého z předchozích kroků. Proto bychom tento krok měli chápat jako iterace a nikoliv privilegium rozhodovatele stanovit jednoznačné závěry v předmětném rozhodovacím procesu.[9]

1.7.4 Vzájemná závislost a podmíněnost kritérií

Při větším množství kritérií dochází k vzájemné závislosti těchto kritérií. K řešení tohoto problému se používá matematický aparát, který rozlišuje dvě závislosti mezi veličinami, a to funkční a statistickou.

Funkční závislost znamená, že hodnotě jednoho kritéria nebo více kritérií odpovídá podle funkčního matematického vztahu hodnota zcela odlišného kritéria.

Statická závislost může i nemusí být projevem příčinného vztahu. Jinou příčinou mohou být obsahové překrývání dvojic kritérií, pokud se tak stane je nutností zmenšení vah této dvojce. Při překrytí vícero kritérií nastává problém, kdy není jednoznačné které váhy snížit a které zvýšit.[9]

1.8 Řešení vícekritériálních rozhodovacích modelů

Řešitelnost úloh vícekritériálního rozhodování spočívá ve výběru z několika variant, které jsou hodnoceny dle různých kritérií (rozdílných charakterů), což nám ztěžuje vyhodnocování těchto variant. Tato kritéria můžeme nazývat za *konfliktní*.

Další možnosti k řešení je *redukce počtu hodnotících kritérií*, získáváme tím zjednodušení úlohy, v některých případech dokonce až zanedbání některých méně významných kritérií. Můžeme říci, že tento způsob je pro nás nepřijatelnějším řešením.

Třetí možností je, *převádění kritéria na stejné měrné jednotky*, tím se zabezpečí aditivost kritérií. Tento způsob považujeme také za, jedno, z nejvhodnějších řešení.

Posledním rozdělením je převádění kritéria na bezrozměrné vyjádření, které se zakládá na postupném vylučování variant a kritérií hodnocení podle předem daných postupů. Využívá vícekritériálních funkcí užitku nebo způsob kompenzační metody.[2]

2 Typy rozhodovacích úloh.

Každá řešená úloha je specifická podle své informace či přístupu cíle řešení vícekriteriálního rozhodovacího modelu.

2.1 Specifikace podle typu informace

Rozhodovací vícekriteriální úlohy někdy taky multikriteriální úlohy z anglického multicriterion, kde se důsledky posuzují podle více kritérií.

Jelikož tato problematika zahrnuje různé typy úloh, není možné stanovit jednotnou teorii a zní vycházející jednotný algoritmus, který by vyhovoval všem typům úloh.

Rozhodování v úlohách vícekriteriální optimalizace se zakládá na transformaci informací, které jsou nám známy, jedná se o cíle uživatele a podle jakých variant se budeme rozhodovat.

Můžeme konstatovat, že pro klasifikaci úloh jsou důležité informace, které máme k dispozici z dané úlohy, nebo které vyplynou v průběhu řešení úlohy. Informaci můžeme nazývat primární, to je taková informace kterou jsme nuceni zjistit nebo sekundární, je informace získatelná z informačního zdroje. Toto informační hledisko poslouží k rozdělení úloh multikriteriálního rozhodování do čtyř kategorií, které v následující kapitole Srovnání jednotlivých metod MCA využijeme k stanovení vah kritérií:

1. *Nulové informace*, nejsme schopni určit žádnou informaci o preferencích a cílech. Ovšem, aby byla úloha vícekriteriálního rozhodování řešitelná, musíme disponovat informacemi o preferencích mezi variantami.
2. Druhou skupinou nazýváme *nominální informace*, zde vyjadřujeme preference mezi kritérii pomocí aspiračních úrovní, kde následuje další členění skupiny na přijatelné či nepřijatelné.
3. *Ordinální informace* řadíme do skupiny druhé. Pomocí ordinální informace vyjadřujeme pořadí kritérií, kterým přisuzujeme důležitost nebo pořadí variant pomocí hodnocení kritérií.
4. Další, poslední skupinou charakterizujeme úlohy při řešení s *informací kardinální*. Kardinální informace udávají o jakou hodnotu je jedno tvrzení lepší či horší než druhé. Existuje několik metod využívající této informace k stanovení řešení, kde k preferování kritérií používáme váhy kritérií.
[1][3][4]

Ve čtvrté kapitole Vhodnost metod pro různé typy využijeme těchto čtyř kategorií pro přiřazení k metodám vícekriteriálního rozhodování.

2.2 Cíle řešené úlohy

Členění úloh se nerozděluje pouze podle typu informace ale i dle cíle řešení úlohy, kterými disponujeme v dané úloze.

Do první, větší skupiny řadíme úlohy, při kterých si cíl stanovujeme vybrat pouze jedinou variantu, je to ta varianta, která odpovídá námi nejbližše stanoveným kritériím. Takovou variantu označujeme za kompromisní.

V druhé skupině představujeme úlohy, po kterých chceme jejich vzájemné seřazení všech přípustných variant. Zpravidla se řadí sestupně, to znamená od nejlepší varianty po tu nejhorší.

Poslední skupina rozděluje tyto cíle rozhodovacího procesu na dobré nebo špatné.

3 Srovnání jednotlivých metod MCA

V této kapitole budou postupně popsány jednotlivé metody stanovení vah a nakonec postup určení aritmetického průměru všech vah stanovenými těmito metodami. V další části se budeme zabývat popisem metod vícekritériální analýzy. Metod pro stanovení vah a analýzu variant je několik, zde si popíšeme jen některé z nich. Širší záběr do této problematiky můžeme najít v literatuře: [1],[2],[3],[4],[5],[6],[9]. Kterou jsem použil pro pochopení jednotlivých principů metod.

3.1 Metody pro stanovení vah kritérií

Prvním úkolem úloh vícekritériálního rozhodování je stanovení vah kritérií, které následně použijeme k řešení rozhodovacích metod. Metod pro stanovení kritérií je mnoho, jejich rozdíly spočívají ve složitosti získávání informací. Čím větší je důležitost kritéria, tím větší je jeho váha. Popíšeme si několik základních metod získávání vah kritérií.

3.1.1. Metoda kompenzační

Pomocí kompenzační metody a jejího postupu stanovujeme váhy kritérií na základě důsledků jednotlivých variant. Prvním krokem je stanovit nejhorší a nejlepší dopad na všechny kritéria. Dále pak kritériu, které považujeme za nejdůležitější, udělujeme 100 bodů a to s pomocí výpočtů změny nejlépe a nejhůře hodnocené varianty. Postupně vytváříme pořadí preferovaných kritérií a porovnáváme jejich důležitost s nejlépe ohodnoceným kritériem. Jakmile porovnáme všechny kritéria, dostáváme váhy, které následně normujeme.

3.1.2 Metoda postupného rozvržení vah

Někdy také nazývaná strom kritérií se používá v případech, kdy máme větší počet kritérií (více jak 10). Můžeme říci, že hlavní výhodou je dodržování poměru mezi kritérii. Postup spočívá ve vytváření skupin kritérií, ve kterých shledáme podobný věcný obsah, dále v rámci těchto skupin normujeme váhy tak, aby se jejich součet rovnal 1. K určení vah kritérií můžeme použít metody zmíněné v této kapitole. Poté hodnotíme váhami jednotlivá kritéria podle preference v jednotlivých skupinách. Konečné váhy získáváme násobením vah kritérií a vypočtenou skupinou v předchozích krocích.

3.1.3 Metoda Fullerova

Fullerova metoda neboli metoda párového srovnání. Využíváme Fullerův trojúhelník, to znamená, že porovnáváme vždy mezi sebou dvě kritéria a srovnáváme jejich důležitost. Celkový počet srovnání můžeme zapsat matematickou rovnicí (1)

$$N = \binom{k}{2} = \frac{k(k-1)}{2} \quad (1)$$

Kritéria se pevně čísly (1, 2, ..., k). Uživatel dostane schéma Fullerova trojúhelníku, kde dvojřádky tvoří dvojce pořadových čísel. Každá dvojce se v tomto trojúhelníku nachází pouze jedenkrát. Uživatel vždy porovná dvě kritéria mezi sebou, to které shledá důležitějším, označí zakroužkováním, vybranému kritériu potom připsujeme 1 bod.

Celkový počet označení i-tého kritéria označujeme n_i a váhu tohoto kritéria spočteme dle vzorce (2)

$$v_i = \frac{n_i}{N}; i = 1, 2, \dots, k \quad (2)$$

Schéma Fullerova trojúhelníka:

1	1	1	.	.	1
2	3	4	.	.	k
<hr/>					
	2	2	.	.	2
	3	4	.	.	k
	<hr/>				k
				k-2	k-2
				k-1	k
				<hr/>	
				k-1	
				k	

Zdroj: Korviny P., tzv str. 23

Jednoznačnou výhodou této metody je jednoduchost vyžadované informace od uživatele. Mohou nastat situace, během kterých vzejdou dvě stejně důležité kritéria nebo naopak nesrovnatelná, i s takovými případy si tato metoda dokáže poradit. Stejně důležité kritéria se kroužkují obě.

Nesrovnatelná kritéria se nekroužkují, ovšem i tak musí být připočteny do jmenovatele ve vzorci (2).

3.1.4 Metoda Saatyho

Saatyho metoda také nazývaná metodou kvalitního párového srovnání je založena na několika krocích. Prvním krokem je párové srovnání kritéria a následně jejich obodování, body zobrazené v tabulce 3.

Tab. 3 Bodová hodnocení pro Saatyho metodu

Popis velikosti preferencí	
Bodové hodnocení	Slovní hodnocení
1	obě dvě kritéria jsou stejně významná
3	první kritérium je slabě významnější než druhé
5	první kritérium je silně významnější než druhé
7	první kritérium je velmi silně významnější než druhé
9	první kritérium je absolutně významnější než druhé

Zdroj: Upraveno dle Fotr et al. (2010), str. 182

Hodnocení sudými čísly (2, 4, 6, 8) využíváme citlivějšího vyjádření neboli mezistupně hodnocení.

Ohodnocením kritérií dostáváme matici velikosti preferenci neboli Saatyho matici (značíme S), přesněji řečeno jen její pravou část. Do všech prvků ležících na hlavní diagonále se dopisuje hodnota 1. Druhá polovina matice (levá část) se vyplní podle vzorce (3)

$$s_{ji} = \frac{1}{s_{ij}} \quad (3)$$

Kde platí pro všechna i a j , levá část matice S je zastoupena hodnotami s_{ji} a pravá část matice S znázorňují prvky s_{ij} .

Tato metoda má jedno malé úskalí, a to že musíme dodržet plnou konzistenci matice (bodů) nebo alespoň částečnou konzistenci matice podle rovnice (4)

$$s_{ji} \cdot s_{jq} = s_{iq} \quad (4)$$

Váhy kritérií stanovujeme jinou metodou, a to metodou stanovení vah podle geometrického průměru řádku, která bude detailněji rozebrána v kapitole 3.1.8, matematický zápis geometrického průměru řádku znázorňuje vzorec (5).

$$g_i = \sqrt[k]{\prod_{j=1}^k s_{ij}} ; \quad i, j = 1, 2, \dots, k \quad (5)$$

Hodnoty geometrických průměrů řádků normalizujeme a dostáváme se k vahám Saatyho metody, viz rovnice (6).

$$v_i = \frac{g_i}{\sum_{i=1}^k g_i} ; \quad i, j = 1, 2, \dots, k \quad (6)$$

3.1.5 Metoda pořadí

Metoda pořadí je určena pouze pro informace ordinální a nejprve řadíme informace dle jejich důležitosti. Kritériu s nejmenší důležitostí přiřazujeme číslo (bod) 1, další kritérium, které jsme vyhodnotili jako druhé, nejméně důležité, bude mít číslo $k+1$. Takto ohodnotíme všechny kritéria k body. Pokud nastane situace, kdy hodnotíme dvě různá kritéria stejným číslem (stejně důležitá), volíme průměrnou hodnotu bodů daného rozpětí pořadí kritérií. V dalším kroku sčítáme všechny body, poté dělíme každé hodnocené kritérium tímto součtem bodů, čímž se dostáváme k jednotlivým váhám kritérií. Součtem všech vah jednotlivých kritérií musíme vždy dostat hodnotu 1. Obecně je i -tému kritériu přiřazeno číslo b_i , váhu tohoto i -tého kritéria (v_i) vypočteme dle vzorce (7)

$$v_i = \frac{b_i}{\sum_{i=1}^k b_i} ; i = 1, 2, \dots, k \quad (7)$$

kde

$$\sum_{i=1}^k b_i = \frac{k(k+1)}{2} \quad (8)$$

3.1.6 Metoda bodovací

Princip této metody, je v rozdělení určitého počtu bodů a to tak, že uživatel posuzuje důležitost jednotlivých kritérií, které v dalším kroku hodnotí body z bodové stupnice. Stupnici volí uživatel před hodnocením kritérií, protože záleží na správném promyšlení a rozložení této bodové stupnice. Čím je kritérium důležitější, tím je jeho bodové ohodnocení vyšší. Body se nemusí pohybovat pouze v celých číslech a dvě různá kritéria mohou mít shodný počet bodů. Po bodovém ohodnocení kritérií, přecházíme na výpočet vah těchto kritérií, podle vztahu (7), jako u metody pořadí. Obecně jde říci že, uživatel musí ohodnotit i -té kritérium hodnotou b_i ležící v něhož zvolené stupnici (např. $b_i \in < 0, 100 >$) přičemž součet všech bodů kritérií vyjde 100. [4]

3.1.7 Metoda geometrického průměru řádků

Jedním z nejjednodušších a nenáročných způsobu určení vah kritérií je metoda geometrických průměrů řádků. Jak už napovídá název této metody, jde o geometrický průměr jednotlivých řádků matice S. [9]

Matematický zápis pro geometrický průměr řádků vzorec (5).
Normalizace pro vypočtení vah kritérií, viz rovnice (6).

Na první pohled můžeme říci že Saatyho metoda využívá zcela kompletní metodu geometrických průměrů řádku, ale je třeba podotknout, že Saatyho metoda se liší v prvním kroku (ohodnocování slovních kritérií). Můžeme tedy konstatovat, že Saatyho metoda je vylepšením metody geometrických průměrů řádků.

3.1.8. Konečné váhy

Váhy vypočtené předchozími metodami se liší, jedná se od odlišnosti daných metod stanovení vah ale i subjektu rozhodování. Minimalizací této nepřesnosti můžeme zapojit více těchto subjektů do řešení úloh vícekritériálního rozhodování.

Všechny vypočtené váhy jednotlivých metod upřesníme dle aritmetického průměru, viz vzorec (9).

$$a_p = \frac{v_1 + v_2 + \dots + v_n}{n} \quad (9)$$

kde a_p znázorňuje aritmetický průměr, v_n označuje váhu kritéria n -té metody a n celkový počet metod.

3.2 Metody vícekritériální analýzy variant

Jak už bylo zmíněno metody vícekritériální analýzy variant členíme dle typu informace o preferencích mezi kritérii. V následující kapitole bude rozepsáno několik metod vícekritériální analýzy variant, které se dělí do skupin na metody nevyžadující žádné informace o preferencích mezi kritérii a metody vyžadující nominální, ordinální, kardinální informaci o preferencích. Nejméně využívané metody jsou ty které nevyžadují zmíněné informace. Jsou to metoda prostého pořadí a metoda bodovací. V těchto případech nám stačí znát důležitost jednotlivých variant.

Úlohy založené na nominální informaci preferencí kritérií, kde známe pouze aspirační úroveň. Do této skupiny metod patří například konjunktivní metoda, disjunktivní metoda a metoda PRIAM

Metody vyžadující ordinální informaci o variantách podle každého kritéria, můžeme seřazovat dle důležitosti kritérií a následně varianty dle jednotlivých kritérií. V této skupině si popíšeme jedinou metodu a to metodu ORESTE.

V metodách vyžadující kardinální informace o preferencích, řadíme tyto kritéria podle námi zvolené významnosti a následně tyto významnosti převádíme na jednotlivé váhy. Zastoupení této skupiny ponese metoda TOPSIS a metoda váženého součtu.

Další významné metody jsou popsány v knižních dílech [3] nebo [4].

3.2.1. Metoda konjunktivní

Konjunktivní metoda je založena na stanovení aspiračních úrovní y_j^m pro $j = 1, 2, \dots, k$ a $m = 1, 2, \dots, p$. Varianty porovnáváme s touto aspirační úrovní a stanovujeme zda jsou přijatelné nebo nepřijatelné. Za akceptovatelné varianty považujeme ty které vyhovují matematickému zápisu (10)

$$y_{ij} \geq y_j^m ; \text{ kde pro všechna } j = 1, 2, \dots, k \quad (10)$$

kdy y_{ij} posuzované prvky jednotlivých variant a y_j^m znázorňuje minimální požadovanou aspirační úroveň.

Při slabé aspirační úrovni můžeme dojít k závěru kde se setká několik akceptovatelných variant, poté musíme aspirační úroveň zpřísnit. V opačném případě kdy neshledáme žádnou vyhovující variantu jsme nuceni aspirační roveň uvolnit. V tomto postupu pokračujeme do doby než shledáme jedinou akceptovatelnou variantu z množiny všech variant, kterou označujeme jako kompromisní variantu.

3.2.2. Metoda disjunktivní

Disjunktivní metoda je založena na totožném principu jako metoda konjunktivní, ovšem akceptovatelnou variantu považujeme takovou kterou vyjadřuje vzorec (11). Kompromisní variantu porovnáváme opět s požadavkem na aspirační úrovně, kde tyto úrovně zpřísníme či uvolňujeme,

$$y_{ij} \leq y_j^m ; \text{ kde alespoň jedno } j = 1, 2, \dots, k \quad (11)$$

kdy y_{ij} posuzované prvky jednotlivých variant a y_j^m znázorňuje minimální požadovanou aspirační úroveň.

3.2.3 Metoda PRIAM

Metoda PRIAM je založena na principu postupného prohledání všech variant v několika krocích, tak aby na konci tohoto procesu byla na výstupu pouze jediná varianta (nedominované řešení). Aspirační úroveň y_{ij} stanovujeme jako bazální variantu, to značí že za prvky vybíráme ty nejhorší možné z celé množiny kritérií. Tuto úroveň vyjadřujeme matematickou rovnicí (12)

$$y_j^m = (y_1^m, y_2^m, \dots, y_k^m) \quad (12)$$

V nultém kroku se aspirační úroveň stanoví jako nejhorší možná varianta podle každého kritéria, s tímto hodnocením se porovnávají všechny varianty pro které platí vztah (13) označený jako "kritériální hodnoty varianty vyhovují požadovaným aspiračním úrovním".

$$y_i \geq z^{(0)} \quad (13)$$

Do dalšího kroku se dostanou pouze ty varianty které splní požadovanou aspirační úroveň, počet těchto splňujících variant označujeme písmenem d . Podle hodnoty d mění uživatel aspirační úroveň kritérií s krokem $s + 1$, který znázorňuje vzorec (14)

$$z^{s+1} = z^{(s)} + \Delta z^{(s)} \quad (14)$$

Podle počtu splňujících požadavků variant v daném kroku aspirační úrovně, značíme písmenem d může nastat:

- $d > 1$ snížení počtu přípustných variant, změna (zprísnění) aspirační úrovně
- $d = 1$ hledané řešení, pouze jediná varianta
- $d = 0$ žádná varianta neodpovídá dané aspirační úrovni

3.2.4 Metoda ORESTE

Pro tuto metodu stačí znát pouze ordinální informaci o preferenci kritérií. Nejprve musíme vyjádřit vektor $q = (q_1, q_2, \dots, q_n)$ který vypovídá o důležitosti kritérií, dle námi zvoleném pořadí těchto kritérií. Stejným způsobem vytváříme matici $M = (m_{ij})$, pro $i = 1, 2, \dots, k, j = 1, 2, \dots, n$, kdy atribut matice m_{ij} tvoří pořadová čísla variant. Pro stejná pořadová čísla platí, že je musíme uvést jako jejich průměrnou hodnotu.

Druhým krokem vytváříme matici $D = (d_{ij})$, $i = 1, 2, \dots, k, j = 1, 2, \dots, n$ a to vzorcem (15), tato rovnice se označuje za Dujmovičovu metriku.

$$d_{ij} = \left(\frac{1}{2} m_{ij}^r + \frac{1}{2} q_i^r \right)^{\frac{1}{r}} \quad (15)$$

d_{ij} jsou prvky matice D , m_{ij} znamená prvek matice M , q_i značí prvek vektoru q , parametr r je Dajmiovův exponent který se rovná reálnému číslu 3.

Dalším, třetím krokem je vytvoření matice $R = (r_{ij})$ tu tvoříme vzestupným řazením vzdáleností d_{ij} hodnocenými prvky z matice R . Po vytvoření této matice provádíme součty jednotlivých řádků, prvky stejné hodnoty se opět průměrují.

Posledním čtvrtým krokem je seřazení všech součtů r_i , určení vzestupného pořadí variant. Variantu s nejnižším součtem můžeme hodnotit jako nejlepší a tedy ji také označit za kompromisní variantu.

3.2.5 Metoda shody a neshody (CDA)

Metoda shody a neshody je založena na principiálním porovnávání alternativ výběru po dvojicích. Udávají stupeň kterým alternativy a váhy daných faktorů potvrzující či vyvracející vyřazovací poměr mezi alternativami. Rozdíly ve váhách a ohodnocením jsou v této metodě posuzovány odděleně.

Pro index shody platí matematický zápis (16), index shody mezi alternativou a_1 a alternativou a_2 je vyjádřen jako podíl součtu všech vah kritérií která mají hodnocení a_1 větší nebo rovno hodnocení a_2 , a součtu vah kritérií.

$$C_{a_1a_2} = \frac{\sum W_j (e_{a_1j} \geq e_{a_2j})}{\sum W_j} \quad (16)$$

Souběžně je potřeba definovat rovnici (17) pro index neshody, která je obdobná jako pro index shody na malou výjimku, čitatel je roven rozdílu hodnocení pouze pro ty hodnocení která jsou menší než a_2 , a jmenovatel je roven rozdílu hodnocení všech alternativ.

$$D_{a_1a_2} = \frac{D_1}{D_2} = \frac{\max(W_j \cdot e_{a_2j} - W_j \cdot e_{a_1j}) (e_{a_1j} < e_{a_2j})}{\max(W_m \cdot e_{im}) + \min(W_m \cdot e_{im})} \quad (17)$$

Celkový index shody alternativy a_1 je součet všech indexu shody, rovnice (18)

$$C_{a_1} = \sum_{j=1}^J C_{a_1j} \quad (18)$$

Celkový index neshody alternativy a_1 je součet všech indexu neshody, rovnice (19)

$$D_{a_1} = \sum_{j=1}^J D_{a_1j} \quad (19)$$

Nakonec už jen seřadíme vypočtené alternativy podle maximálního indexu shody a minimálního indexu neshody. Tyto výsledky jsou zapsány rovnicí (20), které můžeme na závěr vzestupně uspořádat.

$$CDA_i = I - C_i + D_i \quad (20)$$

3.2.6 Metoda IPA

Metoda ideálních bodů je založena na principu metody WSA tedy metody váženého součtu s malou úpravou na tvar (21). Touto úpravou docílíme toho, že hodnota s nejnižším užitekem (výsledkem) je tou nejlepší možnou z dané množiny variant a to platí i naopak.

$$u(a_i) = \sum_{j=1}^k v_j \cdot (1 - r_{ij}) \quad (21)$$

3.2.7 Metoda TOPSIS

Další velmi používanou metodou je metoda stanovení vzdálenosti od ideálních a bazálních variant. V této úloze považujeme všechny kritéria za maximalizační, pokud nejsou všechny kritéria maximalizační je potřeba je na maximalizační převést. Metoda TOPSIS slouží k úplnému uspořádání množiny všech variant, to znamená, že je určená pro výběr nejlepší varianty. Postup této metody si můžeme pro zjednodušení rozdělit do 4 kroků. Jak už bylo zmíněno, nejprve než se dostaneme k prvnímu kroku, převedeme všechny kritéria na maximalizační.

Prvním krokem vytváříme normalizovanou kritériální matici $R = (r_{ij})$, kde výpočet je znázorněn vzorcem (22). Sloupce matice R považujeme za vektory jednotkové délky.

$$r_{ij} = \frac{y_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^p y_{ij}^2}} \quad \begin{array}{l} \text{kde } i = 1, 2, \dots, p \\ j = 1, 2, \dots, k \end{array} \quad (22)$$

Druhým krokem je vytvoření matice $W = (w_{ij})$ podle vztahu (23), tento vztah vyjadřuje vynásobením všech sloupců matice R odpovídající vahou v_j . Nyní určíme ideální variantu $H = (h_1, h_2, \dots, h_m)$ s nejlepšími hodnotami variant a variantu bazální $D = (d_1, d_2, \dots, d_m)$ s nejhoršími hodnotami variant dle jednotlivých kritérií, kde

$$\begin{aligned} h_j &= \max_i w_{ij}; j = 1, 2, \dots, m \\ d_j &= \min_i w_{ij}; j = 1, 2, \dots, m \end{aligned}$$

$$w_{ij} = v_j r_{ij} \quad (23)$$

V následujícím třetím kroku, vypočítáme jednotlivé vzdálenosti variant od ideální varianty podle vzorce (24)

$$d_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^k (w_{ij} - h_j)^2} \quad (24)$$

a bazální varianty, vzorec (25). V obou těchto případech je použita Euklidova míra vzdálenosti.

$$d_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^k (w_{ij} - d_j)^2} \quad (25)$$

kde d_i^+ označuje vzdálenost od ideální variant, d_i^- označuje vzdálenost od bazální varianty, w_{ij} označuje prvky matice W, h_j označuje j-tou hodnotu množiny H, d_j označuje j-tou hodnotu množiny D.

Posledním krokem je výpočet relativní vzdálenosti variant od bazální varianty a to podle vztahu (26)

$$c_i = \frac{d_i^-}{d_i^+ + d_i^-} \quad (26)$$

Varianty c_i jsou poté uspořádány sestupně, ležící v intervalu $\langle 0,1 \rangle$. Hodnotě 0 řadíme k bazální variantě a hodnotu 1 k variantě ideální. Varianta s nejvyšší hodnotou je brána za kompromisní tudíž ji bereme jako doporučitelnou.

3.2.8 Metoda váženého součtu (WSA)

Poslední zmíněnou metodou je metoda váženého součtu, tato metoda vychází z maximalizace užitku. Pro tento užitek platí pouze předpoklad lineární funkce.

Nejprve vytvoříme normalizovanou matici $R = (r_{ij})$ a to pomocí základní kritériální matice $Y = (y_{ij})$ vytvořené při stanovování vah kritérií. Podle vzorce (27) který je použit v případě že ve sloupci j je kritérium považováno za maximalizační.

$$r_{ij} = \frac{Y_{ij} - D_j}{H_j - D_j} \quad (27)$$

nebo pro případ kdy je ve sloupci j kritérium je minimalizační platí (28)

$$r_{ij} = \frac{H_j - Y_{ij}}{H_j - D_j} \quad (28)$$

kde D_j označuje minimální hodnotu kritéria ve sloupci j , H_j označuje maximální hodnotu kritéria ve sloupci a r_{ij} označuje normalizovanou matici v intervalu $\langle 0,1 \rangle$.

Pro přepočty mezi maximalizačními a minimalizačními kritérii můžeme použít vzorec (29)

$$Y_{ij-max} = H_{i-min} - Y_{ij-min} \quad (29)$$

Použitím aditivního tvaru vícekritériální funkce užitku stanovíme vzorec (30)

$$u(a_i) = \sum_{j=1}^k v_j \cdot r_{ij} \quad (30)$$

Nejlepší variantu volíme tu, která dosáhne nejvyšší hodnoty užitku. Díky tomuto můžeme jednotlivé varianty seřadit od nejlepší po nejhorší.

4 Vhodnost metod dle typu informace pro různé typy úloh.

Může se zdát že úlohy vícekritériálního rozhodování na sebe plynule navazují i když řešíme tyto úlohy samostatně. K řešení úlohy přistupujeme vždy individuálně, kdy nacházíme speciální model řešení. Jednotlivým typům informací přiřazujeme vhodné metody, ve kterých vyjadřujeme preferenci mezi kritérii, více v tabulce 4.

Tab. 4 Metody používané při znalosti preference mezi kritérii

Informace o preferencích mezi kritérii		
Informace	Metoda	Výstup
Žádná	Entropická metoda	Vektor vah kritérii
Nominální	Metoda aspiračních úrovní	Aspirační úrovně kritérii
Ordinální	Metoda pořadí	Vektor vah kritérii
	Fullerova metoda	
Kardinální	Bodovací metoda	
	Saatyho metoda	

Zdroj: Šubrt at al. (2011) str.169

Při využití znalosti preferencí mezi variantami, rozdělujeme metody podle tabulky 5.

Tab. 5 Metody používané při znalosti mez variantami

Metoda	Informace o preferencích mezi variantami					
	Aspirační úrovně	Ordinální informace	Kardinální informace			
			Funkce užitku	Vzdálenost variant od ideální a bazální varianty	Preferenční relace	Mezní míra substituce
Metoda PRIAM		Lexikografická	Metoda váženého součtu	Metoda TOPSIS	Metoda AHP	Metoda postupné substituce
		ORESTE			PROMETHEE	
		Permutační			ELECTRE	

Zdroj: Šubrt at al. (2011) str.170

5 Softwarová podpora MCA.

Softwarová podpora MCA je rozsáhlá, mluvíme tady o tabulkových editorech jako je Microsoft Excel, Sanna 2014 tento program je vytvořen v již zmíněném prostředí Microsoft Excel, TREND poskytuje podporu rozhodování, dále je tady MCA7 vytvořen k disertační práci [9] či MCA8 je rozšířen oproti MCA7 o dvě vícekriteriální metody. Tyto dvě metody nacházející se v softwaru MCA8 jsou AGREPREF a metoda PROMETHEE. K uvedeným metodám v této bakalářské práci nám postačí přehledný program MCA7.

Složitost a pracnost výpočtů vícekriteriální analýzy využívá výpočetní techniky k zlehčení postupu matematických výpočtů či jejich úplné přeskočení. Program MCA7 dokáže provádět aplikovaný výpočet těchto metod:

- metody váženého součtu (WSA - Weighted Sum Approach),
- metody ideálních bodů (IPA - Ideal Points Analysis),
- metody TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution),
- metody shody a neshody (CDA - Concordance Discordance Analysis).

a zároveň usnadňuje výpočet vah těmito metodami [8]:

- metodou Fullerova trojúhelníku,
- Saatyho metodou,
- metodou geometrického průměru řádků.

Tento program je velice jednoduchý a nepožaduje žádné speciální znalosti uživatele. K programu MCA7 je sepsán stručný manuál k rychlé a efektivní tvorbě, ilustrován několika fotkami programu z uživatelského prostředí. Stažení softwaru MCA7 je zdarma, manuál MCA7 a základní teorii MCA je možno nalézt jako součást disertační práce [8]

Teoreticky nám k vícekriteriálnímu rozhodování postačí Microsoft Excel a jeho funkce které poskytují prostředky pro vícekriteriální analýzu, jenže budeme muset nadefinovat všechny matematické výpočty proto můžeme zvolit již z hotových programů které tyto matematické funkce již obsahují.

6 Příklad aplikace MCA

Po teoretickém úvodu začneme výběrem variant hodnocení. Tyto varianty představují jednotlivé technologické mechanismy vytápění. V další části určujeme kritéria, podle kterých posuzujeme jednotlivé varianty. V třetí části, vypočítáváme váhy jednotlivých kritérií za pomoci zmíněných metod. V poslední, čtvrté části aplikujeme metody vícekriteriálního modelu rozhodování a následně vyhodnocujeme nejlepší variantu. V tomto příkladu aplikace MCA chceme poukázat na možnosti využití vícekriteriálních metod rozhodování variant na různé typy rozhodovacích úloh.

Pro metody stanovení vah kritérií budou použity tyto metody: metoda pořadí, Fullerova metoda párového srovnání, Saatyho metoda, metoda postupného rozvrhu vah a kompenzační metoda.

Mezi metody vícekriteriálního rozhodování využíváme metody: konjunktivní, disjunktivní, PRIAM, ORESTE, metodu váženého součtu, TOPSIS, metodu shody a neshody.

Při řešení tohoto příkladu aplikujeme výše zmíněnou teorii. Za zdroje technických informací považujeme tyto [12][13].

V ukázce budou použity finanční prostředky které se liší dle jistých parametrů. Jako příklad pro ukázkou vícekriteriálních metod jsem zvolil rozhodování o implementaci topných zařízení do budov. Budovou myslíme nízkoenergetickou stavbu pro rodinu o čtyřech členech. Lokalita domu se nachází ve střední klimatické oblasti, kde průměrná roční teplota činí 3,8 stupně Celsia a délka otopného období je 248 dnů. Plocha domu je 150 m², tepelnou ztrátu uvažujeme u nízkoenergetických domů kolem 7 kilowatt. Přípravu teplé vody uskutečňujeme ohřevem pomocí energie na vytápění, tento ohřev probíhá 365 dní v roce, pro 4 osoby definujeme spotřebu 50 litrů na den. Za poskytovatele elektrické energie uvažujeme společnost ČEZ s běžným tarifem D02d jistič do 3x20A včetně, cena je stanovena na 4,08 Kč/kWh. Dům zahrnuje pouze běžné spotřebiče jako jsou např. pračka, myčka, lednice, televize, notebook. Rekuperaci tepla zajišťuje řízené větrání které činí 75 procent.

Potřeba energie na vytápění a teplou vodu 12 183 kWh/rok, spotřeba elektrické energie pro ostatní spotřebiče 3 448 kWh/rok

6.1 Vybrané varianty hodnocení

Možnosti jakou technologii požit k vytápění a ohřevu vody je několik, vybral jsem pár typů ze skupin kotlů na tuhá paliva, plyn či elektrickou energii a také zástupce tepelných čerpadel. Tento příklad má posoudit která možnost vytápění se za daných podmínek jeví jako nejlepší.

Posuzovanými veličinami jsou varianty v_1 až v_8 .

v₁ Teplovodní elektrokotel

Varianta číslo 1, teplovodní elektrokotel s účinností pohybující se kolem 95 procent, pracující na principu přeměny elektrické energie na teplo a následný ohřev má roční spotřebu 12825 kWh při ceně 2,33 Kč za jednu kWh. Cena nového kotle se pohybuje kolem 18 000 Kč, přičemž celková pořizovací investice včetně (servisu, kotle, otopné soustavy) činí 139 000 Kč. Minimální životnost začíná na 15 letech, dodaná energie je 12 825 kWh s ročními náklady na topení a ohřev vody 33 925 Kč. Celkové roční náklady dosahují sumy 49 651 Kč, berme v potaz investici, dobu její minimální životnosti a roční náklady na topení a ohřev. Ekologičnost je problémem, protože záleží na úhlu pohledu při výrobě distribuované elektrické energie. Moderní elektrokotle jsou dnes považovány za ekologické. Za kladné vlastnosti se považuje jednoduchost instalace a snadná obsluha.

v₂ Kotel na zemní plyn – běžný (konvenční)

Varianta číslo 2, běžný průtokový kotel na zemní plyn s účinností pohybující se kolem 85 procent, pracující na principu spalování zemního plynu má roční spotřebu 1522 m³ při ceně 1,185 Kč za jednu kWh. Cena nového kotle se pohybuje kolem 25 000 Kč, přičemž celková pořizovací investice včetně (servisu, kotle, otopné soustavy, komínu a přípojky) činí 249 000 Kč. Minimální životnost začíná na 12 letech, dodaná energie je 16 058 kWh s ročními náklady na topení a ohřev vody 22 157 Kč. Celkové roční náklady dosahují sumy 51 511 Kč, berme v potaz investici, dobu její minimální životnosti a roční náklady na topení a ohřev. Ekologičnost tento kotel nesplňuje z důvodů odvodu většího množství par a spalín o teplotě až 160 stupňů Celsia.

v₃ Kotel na zemní plyn – kondenzační

Varianta číslo 3, kondenzační kotel na zemní plyn s účinností pohybující se kolem 102 procent, pracující na principu spalování zemního plynu využívající i teplo spalín má roční spotřebu 1181 m³ při ceně 1,185 Kč za jednu kWh. Cena nového kotle se pohybuje kolem 60 000 Kč, přičemž celková pořizovací investice včetně (servisu, kotle, otopné soustavy, komínu a přípojky) činí 298 000 Kč. Minimální životnost začíná na 15 letech, dodaná energie je 12 463 kWh s ročními náklady na topení a ohřev vody 17 985 Kč. Celkové roční náklady dosahují sumy 50 049 Kč, berme v potaz investici, dobu její minimální životnosti a roční náklady na topení a ohřev. I když je kondenzační kotel daleko ekologičtější než klasický konvenční kotel, pořád vypouští spaliny.

v₄ Tepelné čerpadlo – země – voda

Varianta číslo 4, tepelné čerpadlo země-voda s účinností vyjádřenou jako topný faktor (cop) 4,3 pracující na principu ohřevu plynného chladiva pomocí teploty země a následné kompresi, má roční spotřebu 3222 kWh při průměrné ceně (nízkého a vysokého tarifu) elektrické energie 2,33 Kč za jednu kWh. Cena nového tepelného čerpadla země-voda se pohybuje kolem 230 000 Kč, přičemž celková pořizovací investice včetně (servisu, tepelného čerpadla, otopné soustavy a primárního okruhu) činí 450 000 Kč. Minimální životnost začíná na 20 letech, dodaná energie je 3222 kWh s ročními náklady na topení a ohřev vody 12 199 Kč. Celkové roční náklady dosahují sumy

41443 Kč, berme v potaz investici, dobu její minimální životnosti a roční náklady na topení a ohřev. Tepelná čerpadla se všeobecně považují za velice ekologická.

v₅ Tepelné čerpadlo – vzduch – voda

Varianta číslo 5, tepelné čerpadlo vzduch-voda s účinností vyjádřenou jako topný faktor (cop) 3,2 pracující na principu ohřevu plynného chladiva z okolní venkovní teploty vzduchu a následné kompresi, má roční spotřebu 4591 kWh při průměrné ceně (nízkého a vysokého tarifu) elektrické energie 2,33 Kč za jednu kWh. Cena nového tepelného čerpadla vzduch-voda se pohybuje kolem 250 000 Kč, přičemž celková pořizovací investice včetně (servisu, tepelného čerpadla, otopné soustavy) činí 400 000 Kč. Minimální životnost začíná na 15 letech, dodaná energie je 4591 kWh s ročními náklady na topení a ohřev vody 15 296 Kč. Celkové roční náklady dosahují sumy 48 540 Kč, berme v potaz investici, dobu její minimální životnosti a roční náklady na topení a ohřev. Tepelná čerpadla se všeobecně považují za velice ekologická.

v₆ Kotel na dřevo

Varianta číslo 6, kotel na dřevo s účinností pohybující se kolem 78 procent, pracující na principu spalování dřeva má roční spotřebu 3909 kg při ceně 3,5 Kč za jeden kilogram. Cena nového kotle se pohybuje kolem 25 000 Kč, přičemž celková pořizovací investice včetně (servisu, kotle, otopné soustavy, komínu a sklad paliva) činí 210 000 Kč. Minimální životnost začíná na 12 letech, dodaná energie je 16 150 kWh s ročními náklady na topení a ohřev vody 13 943 Kč. Celkové roční náklady dosahují sumy 41 981 Kč, berme v potaz investici, dobu její minimální životnosti a roční náklady na topení a ohřev. Ekologičnost tento kotel nesplňuje z důvodů odvodu většího množství par a spalin do ovzduší.

v₇ Kamna na dřevěné pelety

Varianta číslo 7, kamna na dřevěné pelety s účinností pohybující se kolem 80 procent, pracující na principu spalování dřevěných pelet má roční spotřebu 3269 kg při ceně 5,4 Kč za jeden kilogram. Cena nového kotle se pohybuje kolem 120 000 Kč, přičemž celková pořizovací investice včetně (servisu, kotle, komínu a sklad paliva) činí 300 000 Kč. Minimální životnost začíná na 15 letech, dodaná energie je 15 438 kWh s ročními náklady na topení a ohřev vody 1 7654 Kč. Celkové roční náklady dosahují sumy 49 225 Kč, berme v potaz investici, dobu její minimální životnosti a roční náklady na topení a ohřev. Ekologičnost tento kotel nesplňuje z důvodů odvodu většího množství par a spalin do ovzduší.

v₈ Kotel na hnědé uhlí

Varianta číslo 8, kotel na hnědé uhlí s účinností pohybující se kolem 70 procent, pracující na principu spalování dřevěných pelet má roční spotřebu 3600 kg při ceně 2,9 Kč za jeden kilogram. Cena nového kotle se pohybuje kolem 35 000 Kč, přičemž celková pořizovací investice včetně (servisu, kotle, otopná soustava, komínu a sklad paliva) činí 285 000 Kč. Minimální životnost začíná na 12 letech, dodaná energie je 18 002 kWh s ročními náklady na topení a ohřev vody 10 411 Kč. Celkové roční

náklady dosahují sumy 41 562 Kč, berme v potaz investici, dobu její minimální životnosti a roční náklady na topení a ohřev. Ekologičnost tento kotel nesplňuje z důvodů odvodu většího množství par a spalin do ovzduší.

6.2 Kritéria hodnocení

Kritéria hodnocení stanovujeme velmi pečlivě, neboť je označujeme za důležitou část v procesu rozhodování. Kritéria jsou nastaveny tak, abychom byli schopni vyčlenit nejlepší variantu. Kritérií bude celkem 10, což je dostatečné množství pro všechny možnosti hodnocení.

k_1 Účinnost - maximalizační

Udává účinnost daného typu kotle či tepelného čerpadla, uváděna v procentech. S výjimkou tepelných čerpadel se účinnost uvádí v tepelném faktoru.

k_2 Cena paliva - minimalizační

Toto kritérium vyjadřuje cenu za jednu jednotku paliva potřebného k provozu.

k_3 Spotřeba paliva - minimalizační

V tomto kritériu uvádíme celkovou roční spotřebu paliva k vytopení a ohřevu vody, přičemž pro vytápění a ohřev potřebujeme získat energii minimálně 12 183 kWh. Palivo je převedeno na průměrnou energii získanou z dané suroviny.

k_4 Cena kotle - minimalizační

Kritérium k_4 vyjadřuje, přibližnou pořizovací cenu kotle či tepelného čerpadla.

k_5 Pořizovací investice - minimalizační

V tomto kritériu se uvádí prvotní vynaložené náklady na instalaci celého kompletu technologie

k_6 Životnost kotle - maximalizační

Kritérium k_6 udává minimální garantovanou životnost, ovšem nejedná se o záruku.

k_7 Závislost - maximalizační

Tímto kritériem hodnotíme jaká je závislost na inženýrských sítích, pokud není závisle, přisuzujeme 2 body. Za závislost na plynovodu 1 bod ubíráme, totéž platí i pro elektrizační síť.

k_8 Roční náklady na topení a ohřev - minimalizační

V tomto kritériu uvádíme cenu kterou zaplatíme za energie dodávané kotli či tepelnému čerpadlu pro výstupní energii 12 183 kWh

k_9 Roční náklady - minimalizační

Uvádí roční náklady které jsou stanoveny algoritmem. První krok je nalezení nejdelší životnosti, dalším krokem je že ceny položek z kratší životností započítá s násobností odpovídající nejdelší nalezené životnosti. Posledním krokem algoritmu je stanovení nákladů za celou dobu životnosti pro každou položku, vypočte celkovou cenu a vztáhne ji na dobu jednoho roku.

k_{10} Ekologičnost - maximalizační

Poslední kritérium k_{10} vyjadřuje, zda daný kotel či čerpadlo zohledňuje životní prostředí. Pokud daná varianta nabízí kladnou možnost přidělujeme 1 bod, pokud ne, tak 0 bodů.

Přehled jednotlivých kritérií pro dané varianty je znázorněno v tabulce 6.

Tab. 6 Uspořádané informace

		k1	k2	k3	k4
		Účinnost	Cena paliva (Kč)	Spotřeba paliva za rok	Cena kotle
v1	Elektrokotel teplovodní	95	2,33/kWh	12825 kWh	18000
v2	Kotel na zemní plyn	85	1,185/kWh	1522 m ³	25000
v3	Kotel na zemní plyn-Kondenzační	102	1,185/kWh	1181 m ³	60000
v4	Tepelné čerpadlo- země-voda	4,3 cop	2,33/kWh	3222 kWh	230000
v5	Tepelné čerpadlo- vzduch-voda	3,2 cop	2,33/kWh	4591 kWh	250000
v6	Kotel na dřevo	78	3,5/kg	3909 kg	25000
v7	Kamna na dřevěné pelety	80	5,4/kg	3269 kg	120000
v8	Kotel na hnědé uhlí	70	2,9/kg	3600 kg	35000

k5	k6	k7	k8	k9	k10
Pořizovací investice	Životnost kotle	Závislost	Topení a voda	Roční náklady	Ekologičnost
139000	15	Elektřina	33925	49651	Ano
249000	12	Elektřina, Plyn	22157	51511	Ne
298000	15	Elektřina, Plyn	17985	50049	Ne
450000	20	Elektřina	12199	41443	Ano
400000	15	Elektřina	15296	48540	Ano
210 000	12	Nezávislé	13 943	41 981	Ne
300000	15	Nezávislé	17654	49225	Ne
285000	12	Nezávislé	10411	41562	Ne

Úprava tabulky a převedení na stejné jednotky popisuje tabulka číslo 7.

Tab. 7 Varianty a kritéria hodnocení

v/k	k1	k2	k3	k4	k5	k6	k7	k8	k9	k10
v1	95	2,33	12825	18000	139000	15	1	33925	49651	1
v2	85	1,185	16058	25000	249000	12	0	22157	51511	0
v3	102	1,185	12463	60000	298000	15	0	17985	50049	0
v4	430	2,33	3222	230000	450000	20	1	12199	41443	1
v5	320	2,33	4591	250000	400000	15	1	15296	48540	1
v6	78	0,847	16 150	25000	210 000	12	2	13 943	41 981	0
v7	80	1,143	15438	120000	300000	15	2	17654	49225	0
v8	70	0,58	18002	35000	285000	12	2	10411	41562	0

6.3 Stanovení vah kritérií

Pro stanovení vah kritérií převedeme data z tabulky 7 na kritériální matici označenou Y .

$$Y = \begin{matrix} & k_1 & k_2 & k_3 & k_4 & k_5 & k_6 & k_7 & k_8 & k_9 & k_{10} \\ \begin{matrix} v_1 \\ v_2 \\ v_3 \\ v_4 \\ v_5 \\ v_6 \\ v_7 \\ v_8 \end{matrix} & \left(\begin{array}{cccccccccc} 95 & 2,33 & 12825 & 18 & 139 & 15 & 1 & 33925 & 49651 & 1 \\ 85 & 1,185 & 16058 & 25 & 249 & 12 & 0 & 22157 & 51511 & 0 \\ 102 & 1,185 & 12463 & 60 & 298 & 15 & 0 & 17985 & 50049 & 0 \\ 430 & 2,33 & 3222 & 230 & 450 & 20 & 1 & 12199 & 41443 & 1 \\ 320 & 2,33 & 4591 & 250 & 400 & 15 & 1 & 15296 & 48540 & 1 \\ 78 & 0,847 & 16150 & 25 & 210 & 12 & 2 & 13943 & 41981 & 0 \\ 80 & 1,143 & 15438 & 120 & 300 & 15 & 2 & 17654 & 49225 & 0 \\ 70 & 0,58 & 18002 & 35 & 285 & 12 & 2 & 10411 & 41562 & 0 \end{array} \right) \end{matrix}$$

Kritéria k_4 a k_5 jsou uváděny v tisících, Matice Y

Pro správnou aplikaci metod vícekritériální analýzy potřebujeme disponovat kritérii stejného charakteru, proto vytváříme matici Y' . V této matici převádíme minimalizační (kritéria k_2 , k_3 , k_4 , k_5 , k_8 a k_9) na maximalizační. Tuto změnu provádíme tak, že od nejvyšší hodnoty kritéria odčítáme jednotlivé hodnoty daných variant.

$$Y' = \begin{matrix} & k_1 & k_2 & k_3 & k_4 & k_5 & k_6 & k_7 & k_8 & k_9 & k_{10} \\ \begin{matrix} v_1 \\ v_2 \\ v_3 \\ v_4 \\ v_5 \\ v_6 \\ v_7 \\ v_8 \end{matrix} & \left(\begin{array}{cccccccccc} 95 & 0 & 5177 & 232 & 311 & 15 & 1 & 0 & 1860 & 1 \\ 85 & 1,145 & 1944 & 225 & 201 & 12 & 0 & 11768 & 0 & 0 \\ 102 & 1,145 & 5539 & 190 & 152 & 15 & 0 & 15940 & 1462 & 0 \\ 430 & 0 & 14780 & 20 & 0 & 20 & 1 & 21726 & 10068 & 1 \\ 320 & 0 & 13411 & 0 & 50 & 15 & 1 & 18629 & 2971 & 1 \\ 78 & 1,483 & 1852 & 225 & 240 & 12 & 2 & 19982 & 9530 & 0 \\ 80 & 1,187 & 2564 & 130 & 150 & 15 & 2 & 16271 & 2286 & 0 \\ 70 & 1,75 & 0 & 215 & 165 & 12 & 2 & 23514 & 9949 & 0 \end{array} \right) \end{matrix}$$

Kritéria k_4 a k_5 jsou uváděny v tisících, Matice Y'

6.3.1 Metoda bodovací

Bodovací stupnici volíme celkem 100 bodů, ohodnocení jednotlivých kritérií stanovujeme na základě vlastního uvážení. Jako kontrola nám poslouží součet všech vah, který by se měl rovnat číslu 1. Kriterium s největší významostí hodnotíme nejvyšším počtem bodů.

Tab. 8 Bodovací metoda

Kritérium	k_1	k_2	k_3	k_4	k_5	k_6	k_7	k_8	k_9	k_{10}	Celkem
Body	15	5	7	9	12	13	8	17	10	4	100
Váhy	0,15	0,05	0,07	0,09	0,12	0,13	0,08	0,17	0,1	0,04	1

Nejvyšší váhu jsme přisoudili kritériu k_8 a nejnižší váhu připisujeme kritériu k_{10} .

6.3.2 Metoda pořadí

Aplikací této metody určujeme pořadí kritérií dle jejich důležitosti, po tomto seřazení docházíme ke stanovování vah. Váhy jednotlivých kritérií stanovujeme dělením stanoveného pořadí kritéria sumou přidělených bodů, viz vzorec (7). Kriterium s nejvyšším číslem pořadí považujeme za to nejdůležitější.

Tab. 9 Metoda pořadí

Kritérium	k_1	k_2	k_3	k_4	k_5	k_6	k_7	k_8	k_9	k_{10}	Celkem
Pořadí	9	2	3	5	7	8	4	10	6	1	55
Váhy	0,164	0,036	0,055	0,091	0,127	0,145	0,073	0,182	0,109	0,018	1

6.3.3 Metoda Fulleroва

Metodou párového srovnání začínáme vytvořením tzv. Fullerova trojúhelníku zobrazen na obrázku 4. V tomto trojúhelníku porovnáváme vždy dvě kritéria, přičemž důležitější zvýrazníme tučně

Obr. 2 Fullerův trojúhelník

k_1	k_1	k_1	k_1	k_1	k_1	k_1	k_1	k_1
k_2	k_3	k_4	k_5	k_6	k_7	k_8	k_9	k_{10}
	k_2	k_2	k_2	k_2	k_2	k_2	k_2	k_2
	k_3	k_4	k_5	k_6	k_7	k_8	k_9	k_{10}
		k_3	k_3	k_3	k_3	k_3	k_3	k_3
		k_4	k_5	k_6	k_7	k_8	k_9	k_{10}
			k_4	k_4	k_4	k_4	k_4	k_4
			k_5	k_6	k_7	k_8	k_9	k_{10}
				k_5	k_5	k_5	k_5	k_5
				k_6	k_7	k_8	k_9	k_{10}
					k_6	k_6	k_6	k_6
					k_7	k_8	k_9	k_{10}
						k_7	k_7	k_7
						k_8	k_9	k_{10}
							k_8	k_8
							k_9	k_{10}
								k_9
								k_{10}

Za každý výskyt kritéria v trojúhelníku přiřazujeme jeden bod, kritérium k_{10} jsme ohodnotili 0 body, proto musíme počet označení pro každé kritérium navýšit o jeden bod. Po tomto přepočtení použijem vztah (2). Váhy se po navýšení změnily ovšem jejich pořadí se nemění.

Tab. 10 Fullerova metoda

Kritérium	k_1	k_2	k_3	k_4	k_5	k_6	k_7	k_8	k_9	k_{10}	Celkem
Pořadí	8	1	2	4	6	7	3	9	5	0	45
Váhy	0,164	0,036	0,055	0,091	0,127	0,145	0,073	0,182	0,109	0,018	1
Přepočet	9	2	3	5	7	8	4	10	6	1	55
Váhy	0,164	0,036	0,055	0,091	0,127	0,145	0,073	0,182	0,109	0,018	1

6.3.4 Metoda Saatyho

Aplikaci metody zahajujeme párovým srovnáváním kritérií dle preference. Vytváříme Tab.11, kterou potřebujeme znát k vytvoření Saatyho matice. Preferované kritérium ve sloupci označujeme hodnotou 1, nepreferované hodnotou 0.

Tab. 11 Saatyho metoda

Kritérium	k_1	k_2	k_3	k_4	k_5	k_6	k_7	k_8	k_9	k_{10}
k1		1	1	1	1	1	1	0	1	1
k2			0	0	0	0	0	0	0	1
k3				0	0	0	0	0	0	1
k4					0	0	1	0	0	1
k5						0	1	0	1	1
k6							1	0	1	1
k7								0	0	1
k8									1	1
k9										1
k10										

Dalším krokem je stanovení Saatyho matice, přičemž prvky hodnocené 0 v Tab.11 ,převádíme na zlomky. Hlavní diagonálu vyplňujeme 1 a levou stranu podle matematického zápisu (3), poté stanovujeme geometrické průměry řádku dle vzorce (5). Posledním krokem je výpočet normalizovaných vah pomocí vztahu (6).

Jednodušší cestou je použít software MCA7, kdy zadáme poměr důležitosti podle Tab. 11. Výsledné váhy jsou poté exportovány do tabulkového editoru.

Tab. 12 Saatyho metoda váhy

Kritérium	k_1	k_2	k_3	k_4	k_5	k_6	k_7	k_8	k_9	k_{10}
Váhy	0,1704	0,0231	0,045	0,0883	0,1315	0,1531	0,0666	0,1943	0,1099	0,0178

6.3.5 Metoda kompenzační

U této metody vytvoříme tabulku pomocí již zjištěné metody pořadí. Nejprve vypočteme rozdíl mezi nejlepší a nejhorší variantou, následně určíme pořadí které je možno opsat z metody pořadí. Prvnímu nejdůležitějšímu kritériu (k_8) přisuzujeme hodnotu 100 bodů. Ostatním kritérium náleží takový počet bodů, jaké určíme dle vztahu k kritériu k_8 . Tyto přisouzené body označujeme jako nenormované váhy, jejich normování provedeme podílem daného kritéria a sumy nenormovaných vah, což je hodnota 615.

Tab. 13 Kompenzační metoda

Kriterium	Jednotka	nejlepší v	nejhorší v	změna	pořadí	Nenormované váhy	Normované váhy
k ₁	počet	430	70	360	2	95	0,154
k ₂	Kč	2,33	0,58	1,75	9	20	0,033
k ₃	počet	18002	3222	14780	8	40	0,065
k ₄	Kč	250000	18000	232000	6	60	0,098
k ₅	Kč	450000	139000	311000	4	80	0,130
k ₆	počet	20	12	8	3	90	0,146
k ₇	Body	2	0	2	7	50	0,081
k ₈	Kč	33925	10411	23514	1	100	0,163
k ₉	Kč	51511	41443	10068	5	70	0,114
k ₁₀	Body	1	0	1	10	10	0,016

6.3.6 Metoda postupného rozvržení vah

Jelikož využíváme většího počtu kritérií je vhodné aplikovat metodu postupného rozvržení vah. Aplikaci provedeme v tabulce 14. Nejprve si vytvoříme dvě skupiny a k nim přiřadíme jednotlivá kritéria. Daným skupinám poté přiřadíme vzájemnou důležitost, poté vypočteme váhy skupin. Totéž provedeme i pro jednotlivá kritéria c obou skupinách. Výsledné váhy získáváme součinem dané váhy skupiny a váhy kritéria spadající do této skupiny.

Tab. 14 Metoda postupného rozvržení vah

Skupina	Kriteria	Pořadí	Hodnota	Váhy skupin	Pořadí	Hodnota	Váhy v rámci skupin	Výsledné váhy
S1	k ₁	2	1	0,3333	1	5	0,333	0,1111
	k ₂				5	1	0,067	0,02222
	k ₃				4	2	0,133	0,04444
	k ₄				3	3	0,200	0,06666
	k ₅				2	4	0,267	0,08888
S2	k ₆	1	2	0,6666	2	4	0,267	0,17776
	k ₇				4	2	0,133	0,08888
	k ₈				1	5	0,333	0,2222
	k ₉				3	3	0,200	0,13332
	k ₁₀				5	1	0,067	0,04444

6.3.7 Metoda geometrického průměru řádků

Jelikož Saatyho metoda vychází z průměru geometrických řádků výsledné váhy kritérií vyšli shodně jako u Saatyho metody tím jsme ověřili správnost uvedení těchto vah. K výpočtu byl použit program MCA7.

Tab. 15 Metoda geometrického průměru řádků

Kritérium	k_1	k_2	k_3	k_4	k_5	k_6	k_7	k_8	k_9	k_{10}
Váhy	0,1704	0,0231	0,045	0,0883	0,1315	0,1531	0,0666	0,1943	0,1099	0,0178

6.3.8 Konečné váhy

Pro využití vah v metodách vícekritériálního hodnocení potřebujeme zvýšit jejich spolehlivost při výpočtu. Toho docílíme aritmetickým průměrem všech vypočtených vah. Tyto průměrované váhy značíme w_{Kn} .

Tab. 16 Konečné váhy

		Váhy									
		W _{K1}	W _{K2}	W _{K3}	W _{K4}	W _{K5}	W _{K6}	W _{K7}	W _{K8}	W _{K9}	W _{K10}
Metoda	bodovací	0,15	0,05	0,07	0,09	0,12	0,13	0,08	0,17	0,1	0,04
	pořadí	0,164	0,036	0,055	0,091	0,127	0,145	0,073	0,182	0,109	0,018
	Fullerova	0,164	0,036	0,055	0,091	0,127	0,145	0,073	0,182	0,109	0,018
	Saatyho	0,1704	0,0231	0,045	0,0883	0,1315	0,1531	0,0666	0,1943	0,1099	0,0178
	kompensační	0,154	0,033	0,065	0,098	0,13	0,146	0,081	0,163	0,114	0,016
	postupného rozvržení vah	0,111	0,222	0,044	0,067	0,089	0,178	0,089	0,222	0,133	0,044
	geometrického průměru řádků	0,1704	0,0231	0,045	0,0883	0,1315	0,1531	0,0666	0,1943	0,1099	0,0178
Aritmetický průměr		0,1548	0,0605	0,0541	0,0877	0,1223	0,15	0,0756	0,1868	0,1121	0,0245

6.4 Metody vícekritériálního vyhodnocení variant

Použitím metod vícekritériálního hodnocení variant pro výběr nejlepšího otopného zařízení, budeme provádět pomocí těchto metod konjunktivní, disjunktivní, PRIAM, ORESTE, shody a neshody, IPA, TOPSIS a metodou váženého součtu. Je třeba si uvědomit, že pro výpočty musíme použít hodnoty stejného charakteru, tzn. buď minimalizační nebo maximalizační, proto využíváme hodnot z matice Y' , tj. Obrázek 3.

6.4.1 Metoda konjunktivní

Prvním krokem metody konjunktivní je stanovení aspirační úrovně y^1 . Tato úroveň se stanovuje aritmetickým průměrem jednotlivých kritérií vycházející z kritériální matice Y' .

$$y^1 = (158; 1; 5658; 154625; 158625; 15; 1; 15979; 4766; 0)$$

Po zjištění aspirační úrovně porovnáváme hodnoty této úrovně s maticí Y' dle vztahu (10), nenacházíme-li žádnou variantu která by vztahu (10) vyhovovala, musíme aspirační úroveň y^1 uvolnit - uvolnění provedeme snížením nároků o 1/3, tudíž vznikne nová aspirační úroveň y^2 . Tento postup aplikujeme na takovou aspirační úroveň která bude vyhovovat vztahu (10).

$$y^2 = (105; 1; 3772; 103083; 105750; 10; 1; 10653; 3177; 0)$$

$$y^3 = (70; 0; 2515; 68722; 70500; 6; 1; 7102; 2118; 0)$$

Aspirační úroveň y^3 opět porovnáváme s jednotlivými variantami matice Y' , kdy nacházíme vyhovující variantu, je to varianta v_7 a označujeme jí za kompromisní variantu.

6.4.2 Metoda disjunktivní

Postup disjunktivní metody je podobný postupu konjunktivní metody. Opět stanovíme aspirační úroveň y^1 .

$$y^1 = (158; 1; 5658; 154625; 158625; 15; 1; 15979; 4766; 0)$$

Po srovnání nestanovujeme žádnou z variant za vyhovující sle vztahu (11), musíme aspirační úroveň zpřísnit a to např. 2x zvětšíme.

$$y^2 = (315; 2; 11317; 309250; 317250; 29; 2; 31958; 9532; 1)$$

Druhá aspirační úroveň y^2 po srovnání odpovídá variantám v_1 , v_2 , v_3 , v_6 , v_7 , a v_8 . Proto volíme zvolnit aspirační úroveň např. o 35 %.

$$y^3 = (205; 1; 7356; 201013; 206213; 19; 1; 20772; 6195; 0)$$

Čtvrtá aspirační úroveň se dopracovala k výsledku, a to, že y^3 vyhovuje dle vztahu (11) variantě v_7 .

6.4.3 Metoda PRIAM

$$y^0 = (70; 0; 0; 0; 0; 0; 12; 0; 0; 0; 0)$$

Jako prvotní úroveň y^0 stanovujeme na úrovni bazální varianty, této úrovni vyhovují všechny varianty, proto musíme tuto úroveň zpřísnit. To provádíme tak, že v každém kroku jedno preferované kritérium navýšíme, v tomto případě se jedná o účinnost, kterou stanovíme alespoň na hodnotu 90.

$$y^1 = (90; 0; 0; 0; 0; 0; 12; 0; 0; 0; 0)$$

Po zpřísnění vyhovuje úrovni y^1 varianta v_1 , v_3 , v_4 a v_5 . Abychom vyloučili další varianty zpřísňujeme kritérium k_6 životnost kotle na hodnotu 16.

$$y^2 = (90; 0; 0; 0; 0; 0; 16; 0; 0; 0; 0)$$

Tímto krokem jsme vyloučili varianty v_1 , v_3 a v_5 . Tato úroveň tudíž vyhovuje pouze jedné variantě a to je varianta v_4 .

6.4.4 Metoda ORESTE

Prvním krokem metody ORESTE je stanovení vektoru q , které znázorňuje uspořádání kritérií dle důležitosti.

$$q = (2; 9; 8; 6; 4; 3; 7; 1; 5; 10)$$

Stejným způsobem vytváříme matici $M = (m_{ij})$, pro $i = 1, 2, \dots, k, j = 1, 2, \dots, n$, kdy atribut matice m_{ij} tvoří pořadová čísla variant. Pro stejná pořadová čísla platí, že je musíme uvést jako jejich průměrnou hodnotu.

$$M = \begin{pmatrix} 4 & 7 & 4 & 1 & 1 & 3,5 & 4 & 8 & 6 & 2 \\ 5 & 4,5 & 6 & 2,5 & 3 & 7 & 1,5 & 7 & 8 & 6 \\ 3 & 4,5 & 3 & 5 & 5 & 3,5 & 1,5 & 6 & 7 & 6 \\ 1 & 7 & 1 & 7 & 8 & 1 & 4 & 2 & 1 & 2 \\ 2 & 7 & 2 & 8 & 7 & 3,5 & 4 & 4 & 4 & 2 \\ 7 & 2 & 7 & 2,5 & 2 & 7 & 7 & 3 & 3 & 6 \\ 6 & 3 & 5 & 6 & 6 & 3,5 & 7 & 5 & 2 & 6 \\ 8 & 1 & 8 & 4 & 4 & 7 & 7 & 1 & 2 & 6 \end{pmatrix}$$

Metoda ORESTE, matice M

Druhým krokem vytváříme matici $D = (d_{ij})$, podle vzorce (15) dle Dujmovičovy metriky.

$$D = \begin{pmatrix} 3,30 & 8,12 & 6,60 & 4,77 & 3,19 & 3,27 & 5,88 & 6,35 & 5,55 & 7,96 \\ 4,05 & 7,43 & 7,14 & 4,87 & 3,57 & 5,70 & 5,57 & 5,56 & 6,83 & 8,47 \\ 2,60 & 7,43 & 6,46 & 5,55 & 4,55 & 3,27 & 5,57 & 4,77 & 6,16 & 8,47 \\ 1,65 & 8,12 & 6,35 & 6,54 & 6,60 & 2,41 & 5,88 & 1,65 & 3,98 & 7,96 \\ 2,00 & 8,12 & 6,38 & 7,14 & 5,88 & 3,27 & 5,88 & 3,19 & 4,55 & 7,96 \\ 5,60 & 7,17 & 7,53 & 4,87 & 3,30 & 5,70 & 7,00 & 2,41 & 4,24 & 8,47 \\ 4,82 & 7,23 & 6,83 & 6,00 & 5,19 & 3,27 & 7,00 & 3,98 & 4,05 & 8,47 \\ 6,38 & 7,15 & 8,00 & 5,19 & 4,00 & 5,70 & 7,00 & 1,00 & 4,05 & 8,47 \end{pmatrix}$$

Metoda ORESTE, matice D

Posledním krokem je vytvoření matice R, v níž je matice pořadových čísel ohodnocení vzdálenosti z matice D.

$$R = \begin{pmatrix} 14,5 & 74 & 54,5 & 26,5 & 8,5 & 11,5 & 43,5 & 48,5 & 33,5 & 70 \\ 22 & 66,5 & 61,5 & 29,5 & 16 & 40 & 36,5 & 35 & 56,5 & 78 \\ 7 & 66,5 & 53 & 33,5 & 24,5 & 11,5 & 36,5 & 26,5 & 47 & 78 \\ 2,5 & 74 & 48,5 & 52 & 54,5 & 5,5 & 43,5 & 2,5 & 17,5 & 70 \\ 4 & 74 & 50,5 & 61,5 & 43,5 & 11,5 & 43,5 & 8,5 & 24,5 & 70 \\ 28 & 64 & 68 & 29,5 & 14,5 & 40 & 59 & 5,5 & 23 & 78 \\ 38 & 65 & 56,5 & 46 & 31,5 & 11,5 & 59 & 17,5 & 22 & 78 \\ 50,5 & 63 & 72 & 31,5 & 19 & 40 & 59 & 1 & 22 & 78 \end{pmatrix}$$

Metoda ORESTE, matice D

Dále už jen sečteme řádky matice R, čímž výsledná hodnota znamená uspořádání variant, kdy ideální varianta je s nejmenším součtem. Zobrazeno v tabulce 17.

Tab. 17 Pořadí metody ORESTE

Varianta	Součet ri	Pořadí
v1	385	3.
v2	441,5	8.
v3	384	2.
v4	370,5	1.
v5	391,5	4.
v6	409,5	5.
v7	425	6.
v8	436	7.

6.4.5 Metoda shody a neshody (CDA)

Metoda shody a neshody je založena na principiálním porovnávání alternativ výběru po dvojicích. Index shody vystihuje vzorec (16).

Metodou shody a neshody byli vypočteny a varianty uspořádány v programu MCA7.

Tab. 18 Pořadí metody CDA

Varianty	CDA	Pořadí
v1	8,5228	8.
v2	7,9714	7.
v3	6,6576	6.
v4	4,5988	1.
v5	6,0295	4.
v6	5,3009	2.
v7	6,3431	5.
v8	5,4595	3.

6.4.6 Metoda IPA

Metoda ideálních bodů je principiálně stejná jako metoda váženého součtu, v rozdílu vypočtu užitku dle vzorce (21). Hodnota s nejnižším užitekem je poté ta nejlepší možnou variantou z matice variant.

Metodou IPA byli varianty vypočteny a uspořádány v programu MCA7.

Tab. 19 Pořadí metody IPA

Varianty	IPA	Pořadí
v1	0,6448	7.
v2	0,7064	8.
v3	0,6133	6.
v4	0,3062	1.
v5	0,5394	4.
v6	0,4449	3.
v7	0,5694	5.
v8	0,4432	2.

6.4.7 Metoda TOPSIS

Metodou TOPSIS rozdělenou do čtyř kroků postupujeme následovně. Sestavujeme normalizovanou matici R dle vzorce (22), kdy můžeme říci že tyto prvky matice jsou vektory jednotkové délky.

Druhým krokem stanovujeme matici W dle vztahu (23). Z této matice W stanovujeme ideální (H) a bazální (D) variantu.

Průběh třetího kroku je založen na stanovení vzdálenosti od ideální varianty dle vztahu (24) a od bazální varianty, dle vztahu (25).

Posledním, čtvrtým krokem je této metody je určení ukazatele c_i dle matematického zápisu (26)

Metodou váženého součtu byli varianty vypočteny a uspořádány v programu MCA7.

Tab. 20 Pořadí metody TOPSIS

Varianty	TOPSIS	Pořadí
v1	0,3651	7.
v2	0,3806	8.
v3	0,3999	6.
v4	0,6242	1.
v5	0,5139	4.
v6	0,545	2.
v7	0,4192	5.
v8	0,5381	3.

6.4.8 Metoda váženého součtu (WSA)

Metodu váženého součtu dělíme do tří kroků, v prvním stanovujeme ideální variantu H a bazální D . Kde ideální považujeme za nejvyšší hodnotu daného kritéria a bazální za nejnížší hodnotu daného kritéria. V druhém kroku vytváříme matici R podle vztahu (27) pro maximalizační hodnoty. Jako poslední krok považujeme agregovanou funkci užitku pro jednotlivé varianty podle vztahu (30). Za nejlepší variantu považujeme tu variantu, která má nejvyšší užitek.

Metodou váženého součtu byli varianty vypočteny a uspořádány v programu MCA7.

Tab. 21 Pořadí metody WSA

Varianty	WSA	Pořadí
v1	0,3552	7.
v2	0,2936	8.
v3	0,3867	6.
v4	0,6938	1.
v5	0,4606	4.
v6	0,5551	3.
v7	0,4306	5.
v8	0,5568	2.

6.5 Vyhodnocení a konečné doporučení

Jelikož jsme použili několik metod vícekriteriálního rozhodování variant můžeme vyhodnotit nejlepší variantu v řešeném problému. Toto vyhodnocení zobrazuje tabulka 22.

Tab. 22 Nejlepší varianta

Pořadí	Počet kompromisních variant	Varianta
1.	6	Varianta č.4
2.	2	Varianta č.7

Za nejlepší variantu tohoto příkladu vyhodnocujeme variantu číslo 4, kterou je tepelné čerpadlo (země-voda). Četnost metod v případech kdy byla tato varianta kompromisní je rovna číslu 6, to znamená že v šesti různých metodách předložené práce byla tato varianta kompromisním řešením.

Za druhou nejlepší variantu považujeme variantu číslo 7 kterou jsou kamna na dřevěné pelety, kdy četnost metod tohoto hodnocení je rovna dvěma.

Pro každou aplikovanou metodu vícekriteriálního rozhodování je hodnocení ovlivněno postupem dané metody. Proto s rostoucím počtem použitých metod zajišťujeme větší kvalitu výběru nejlepší varianty. Je ovšem zřejmé, že hodnocení je ovlivňováno z pozice rozhodovatele. Při určení vah kritérií jsme vždy vyhodnotili za nejdůležitější kritérium roční náklady na topení a ohřev vody, což v každé metodě ovlivnilo výběr nejlepší varianty.

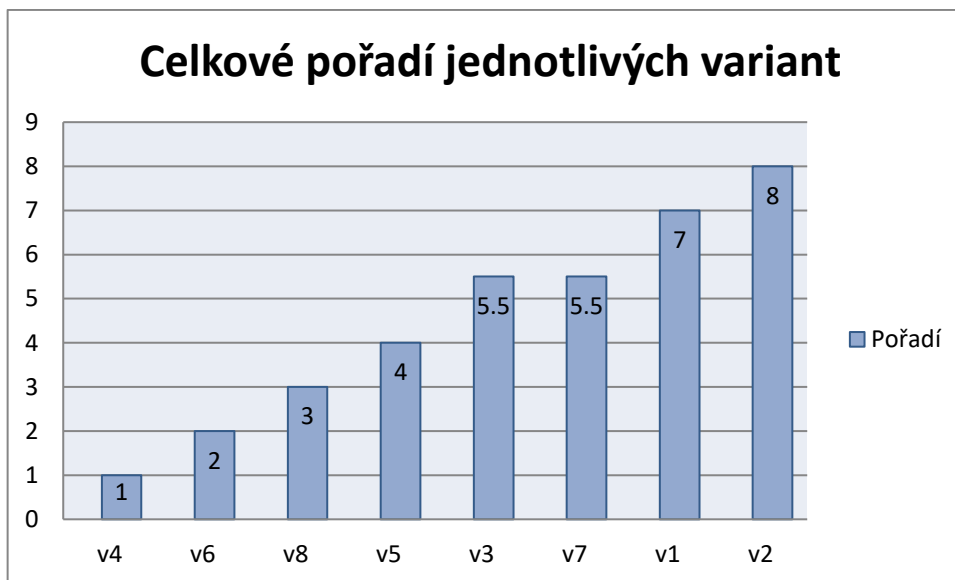
K porovnání jak si dané varianty vzájemně vedli, využijeme metody v níž jsme stanovili pořadí všech variant. A to v metodách ORESTE, váženého součtu, TOPSIS, IPA a metodou shody a neshody, znázorněno v tabulce 23. Za dosažené umístění přidělujeme body shodující se z tímto umístěním, znázorněno v tabulce 23. Za nejlepší variantu poté stanovujeme tu, která dosáhla nejnižšího součtu bodů.

Tab. 23 Celkové vyhodnocení metod

Varianta	Metoda					Bodové ohodnocení	Pořadí
	ORESTE	TOPSIS	IPA	CDA	WSA		
v1	3.	7.	7.	8.	7.	32	7.
v2	8.	8.	8.	7.	8.	39	8.
v3	2.	6.	6.	6.	6.	26	5.-6.
v4	1.	1.	1.	1.	1.	5	1.
v5	4.	4.	4.	4.	4.	20	4.
v6	5.	2.	3.	2.	3.	15	2.
v7	6.	5.	5.	5.	5.	26	5.-6.
v8	7.	3.	2.	3.	2.	17	3.

V těchto pěti metodách stanovujeme konečné pořadí. Na prvním místě se jednoznačně umístila varianta číslo 6. Na druhém místě je varianta číslo 5 s nepatrnou ztrátou. Třetí místo zastoupila varianta číslo 8. Čtvrté místo patří variantě číslo 5. Stejný počet bodů získala varianta číslo 3 a 7, tudíž těmto variantám připisujeme páté a šesté místo. Sedmou v pořadí je varianta číslo 1 a jako poslední zůstala varianta číslo 2.

Z výsledků jasně vyplývá jak velkou roli v rozhodovacím procesu zastupují váhy kritérií. Z prvních tří nejlepších variant vyplývá to, že jsme zvolili kritérium roční ceny vytápění a ohřevu vody za nejdůležitější jsme nepřímou ovlivnili pořadí jednotlivých variant.



7 Závěr

O rozhodování jako takovém slyšíme nejčastěji v oborech s manažerskou aktivitou, kde manažeři ovlivňují chod a budoucnost společnosti. Rozhodovací procesy však můžeme sledovat i v jiných oblastech, a to konkrétně ve všech oblastech kde vybíráme varianty z množiny několika variant, což spadá pod vícekriteriální rozhodování.

Metod pro aplikaci vícekriteriálního rozhodování existuje nespočetné množství. Subjekt neboli uživatel rozhodování určuje, které metody jsou pro danou úlohu vhodné. V rámci této práce bylo použito sedm metod pro stanovení vah kritérií a osm metod vícekriteriální analýzy variant. Výběr metod jsem provedl na základě vhodnosti pro aplikovaný příklad metody vícekriteriálního rozhodování a také aby tyto metody byly základní a měly dobrou vypovídací schopnost.

Cílem vypracované bakalářské práce je použití vybraných metod vícekriteriálního rozhodování v elektroenergetice. Kde zvolené téma praktické části je možnosti vytápění a ohřevu teplé vody domácnosti.

Vícekriteriálním metodám porozumívám za pomoci teorie k tomuto tématu, kdy jsem popsal základní pojmy a postupy rozhodovacího procesu, metod stanovení vah kritérií a metod vícekriteriální analýzy variant. Aplikováním vybraných metod vícekriteriálního hodnocení jsem docílil výběru nejlepší varianty ze souboru všech variant. Některé metody umožnily stanovit i pořadí ostatních variant, což vedlo k celkovému srovnání množiny variant.

Na závěr můžeme konstatovat, že výsledky těchto metod jsou velmi snadno ovlivnitelné rozhodovatelem a to hned ve dvou případech. Prvním případem je výběr metod rozhodování, druhým případem je ve způsobu aplikace těchto metod a to hlavně při určování vah kritérií.

Seznam použitých symbolů a zkratek

<i>cop</i>	- coefficient of performance - účinnost tepelného čerpadla
<i>Kč</i>	- korun českých
<i>kWh</i>	- jedna kilo watt hodina
<i>m²</i>	- jeden metr čtverečný
<i>m³</i>	- jeden metr krychlový
<i>kg</i>	- jeden kilogram

Seznam obrázků

<i>Obr. 1 Pohled na vztah cíle, variant a kritérií hodnocení</i>	11
<i>Obr. 2 Fullerův trojúhelník</i>	37

Seznam tabulek

<i>Tab. 1 Rozhodovací tabulka</i>	9
<i>Tab. 2 Příklad</i>	12
<i>Tab. 3 Bodová hodnocení pro Saatyho metodu</i>	19
<i>Tab. 4 Metody používané při znalosti preference mezi kritériemi</i>	28
<i>Tab. 5 Metody používané při znalosti mez variantami</i>	28
<i>Tab. 6 Uspořádané informace</i>	34
<i>Tab. 7 Varianty a kritéria hodnocení</i>	35
<i>Tab. 8 Bodovací metoda</i>	36
<i>Tab. 9 Metoda pořadí</i>	36
<i>Tab. 10 Fullerova metoda</i>	37
<i>Tab. 11 Saatyho metoda</i>	38
<i>Tab. 12 Saatyho metoda váhy</i>	38
<i>Tab. 13 Kompenzační metoda</i>	39
<i>Tab. 14 Metoda postupného rozvržení vah</i>	39
<i>Tab. 15 Metoda geometrického průměru řádků</i>	40
<i>Tab. 16 Konečné váhy</i>	40
<i>Tab. 17 Pořadí metody ORESTE</i>	43
<i>Tab. 18 Pořadí metody CDA</i>	44
<i>Tab. 19 Pořadí metody IPA</i>	44
<i>Tab. 20 Pořadí metody TOPSIS</i>	45
<i>Tab. 21 Pořadí metody WSA</i>	45
<i>Tab. 22 Nejlepší varianta</i>	46
<i>Tab. 23 Celkové vyhodnocení metod</i>	47

Seznam Literatury

- [1] FIALA, P. *Modely a metody rozhodování*. 2. přeprac. vydání. Praha: Vysoká škola ekonomická v Praze, 2008. 292 s. ISBN 978-80-245-1345-4.
- [2] FOTR, Jiří, Lenka Švecová et al. *Manažerské rozhodování: postupy, metody a nástroje*. 2. přeprac. vyd. Praha: Ekopress, 2010. ISBN 978-80-86929-59-0
- [3] FIALA, P., JABLONSKÝ, J., MAŇAS, M. *Vícekriteriální rozhodování*. VŠE, 1994. 316 s. ISBN 80-7079-748-7.
- [4] ŠUBRT, Tomáš et al. *Ekonomicko-matematické metody*. Praha: Aleš Černek, 2011. ISBN 978-80-7380-345-2.
- [5] RAMÍK, J. *Vícekriteriální rozhodování – analytický hierarchický proces*. (AHP). Karviná, 1999. 216 s. ISBN 80-7248-047-2.
- [6] VACEK, J. *Rozhodování za rizika a nejistoty: cvičebnice*. 1. vyd. Plzeň: Západočeská univerzita, 2008. 105 s. ISBN 978-80-7043-618-9.
- [7] KORVINY, P. *Aplikace mutlikriteriální analýzy při nasazování dálkově řízených prvků v distribučních sítích vysokého napětí*, Disertační práce, Ostrava 2003

Elektronické zdroje

- [8] KORVINY, P. *MCA7*
<http://korviny.cz/mca7>
- [9] KORVINY, P. *Teoretické základy vícekriteriálního rozhodování*.
<https://korviny.cz/korviny.homepage/downloads>
- [10] Mendel University, Brno
https://is.mendelu.cz/eknihovna/opory/zobraz_cast.pl?cast=66401
- [11] J. Dvorský, P. Krejčí, P. Moldřík, *Software MCA8 for compulation of MCA methods*
<http://www.cs.vsb.cz/elnet/2006/paper/paper-8.pdf>
- [12] *Vypočet vstupních dat pro příklad MCA*
<https://vytapani.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/138-porovnani-nakladu-na-vytapani-tzb-info>
- [13] *Srovnání možností vytápění*
<https://www.cez.cz/teplarenska/cs/radce/porovnani-jednotlivych-zpusobu-vytapani.html>